Rapport 38

Germes d'avenir
Les biotechnologies et le secteur primaire canadien

Septembre 1985

Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe
17e étage
Ottawa (Ontario)
K1P 5M1

©Ministre des Approvisionnements et Services, 1985

En vente au Canada par l'entremise de nos
agents libraires agréés
et autres librairies,
ou par commande postale au

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Hull (Québec) Canada
K1A 0S9

Copies of the English version are
also available at the above address.

N° de catalogue SS22-1985/38F
ISBN 0-660-91586-3
Prix — Canada : 5,25 $
Autres pays : 6,30 $

Prix sujet à changement sans avis.

Septembre 1985

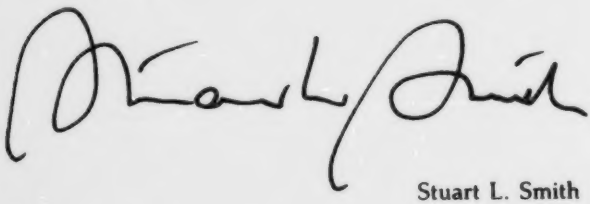
L'honorable Thomas Siddon
Ministre d'État chargé des Sciences et de la Technologie
Chambre des communes
Ottawa (Ontario)

Monsieur le Ministre,

Conformément aux dispositions de l'article 13 de la Loi sur le Conseil des sciences du Canada, j'ai le plaisir de vous faire tenir le rapport 38 du Conseil des sciences, intitulé *Germes d'avenir—Les biotechnologies et le secteur primaire canadien*.

Veuillez agréer, Monsieur le Ministre, l'expression de mes sentiments les plus distingués.

Le président du Conseil
des sciences du Canada,



Stuart L. Smith

Table des matières

Préface 9

Chapitre 1. Les biotechnologies : l'enjeu 11
La réalité 11
La scène internationale 14
La scène canadienne 15
La biotechnologie et le gouvernement 16
Possibilités dans le secteur des richesses naturelles 22
L'agriculture et le secteur des pâtes et papiers 23
Intensification de la recherche fondamentale 26
Stimulation de l'effort industriel de R et D 29

Chapitre 2. Les productions végétales : pour assurer le décollage de la biotechnologie 31
Le gouvernement et la recherche en biotechnologie 32
Le secteur privé et la recherche en biotechnologie 33
Pourquoi investir dans la biotechnologie? 34
Accroissement du soutien offert par Agriculture Canada 35
Soutien à la recherche en phytoprotection et en hygiène vétérinaire 37
Liaison entre les chercheurs des secteurs privé, public et universitaire 38
La loi au secours de la biotechnologie 39
La protection des droits des obtenteurs 39
Homologation de nouvelles variétés agricoles 40
Règlements sur l'homologation du blé 41
Transfert technologique et vulgarisation 42
La réglementation et les risques de la biotechnologie 43
Homologation des antiparasitaires 44
Essais de semences en plein champ 44
Conclusion 45

Chapitre 3. Pâtes et papiers : la biotechnologie sur la ligne de départ 47
Les problèmes du secteur des pâtes et papiers 47
Diminution de la réserve de matières premières 47

Hausse des coûts de production 48
Évolution de la demande 48
Concurrence étrangère sur les marchés d'exportation 50
Problèmes environnementaux 51
La biotechnologie à la rescousse de l'industrie des pâtes et papiers 51
Amélioration des richesses naturelles 52
Réduction des coûts de production 52
Alignement de la production sur la demande 54
Pour que le Canada conserve sa part du marché 54
Réduction de la pollution par les papeteries 56
Stimuler la biotechnologie dans le secteur des pâtes et papiers 56
Sensibiliser le public 56
Établir les priorités de recherche 57
Nécessité d'intensifier la recherche 58
Encourager la coopération 61
Conclusion 62

Chapitre 4. La biotechnologie et les industries canadiennes de matières premières : les promesses. 65
Un engagement ferme dans la recherche 66
Orientation et concentration de la recherche 66
La nécessité d'un personnel bien formé 67
Les banques de cultures cellulaires 68
Une réglementation s'impose 69
Vers un meilleur transfert technologique 70
Financer l'exploitation commerciale de la biotechnologie 70
Clarifier les responsabilités de l'État dans l'exploitation commerciale de la biotechnologie 71
Stimuler l'exploitation commerciale de la biotechnologie grâce au système canadien de brevets 72
Breveter les résultats des recherches universitaires 74
Amener l'industrie à participer à l'essor de la biotechnologie 75
Échanger l'information avec d'autres pays 76
Conclusion 77

Chapitre 5. Conclusions et sommaire des recommandations 79
Sommaire des recommandations 80
Intensification de la recherche fondamentale 80
Réaction à l'attraction du marché 81
Liaison entre les chercheurs et l'industrie 81
Élimination des lacunes sur le plan juridique 82

Références 83

Membres du Comité d'étude de la biotechnologie 90
Membres du Conseil des sciences du Canada 91
Publications du Conseil des sciences du Canada 95

Liste des figures

Figure 1 La biotechnologie et ses disciplines 13
Figure 2 Estimation des nouveaux fonds consacrés à la biotechnologie au Canada, 1983-1984 15
Figure 3 Fonds consacrés à la Stratégie nationale en biotechnologie (1983-1985) 18
Figure 4 Intensification des recherches en biotechnologie par le Conseil national de recherches en 1983 19
Figure 5 Part canadienne de certains marchés importants du secteur primaire, 1965-1983 24
Figure 6 Durée relative des programmes d'amélioration végétale du colza 35
Figure 7 Répartition des fonds investis dans la R et D agricole 36
Figure 8 Agriculture Canada : années-personnes à la Direction générale de la recherche 37
Figure 9 Exportations canadiennes de pâtes et papiers en 1983 49
Figure 10 Production canadienne de pâtes et papiers en 1983 49
Figure 11 Exportations canadiennes de pâtes et papiers par région en 1983 50
Figure 12 Tendances de la coupe annuelle autorisée (CAA) et de la récolte de bois tendre au Canada 57
Figure 13 Tendances de la coupe annuelle autorisée et de la récolte de bois dur au Canada 58
Figure 14 Effectif de R et D dans l'industrie des pâtes et papiers et à PAPRICAN entre 1965 et 1984 60

Liste des tableaux

Tableau 1 Fonds (débloqués et prévus) accordés aux ministères et aux organismes fédéraux dans le cadre de la Stratégie nationale en biotechnologie (1983-1984 et 1984-1985) ($000s) 17

Tableau 2 Réseaux de recherche en biotechnologie 18

Tableau 3 Quelques produits et procédés issus de la biotechnologie dans le secteur des matières premières 27

Tableau 4 Quelques applications possibles de la biotechnologie dans l'industrie canadienne des pâtes et papiers 53

Tableau 5 Possibilités d'application de quelques techniques biologiques dans le secteur canadien des pâtes et papiers 55

Préface

Les nouvelles technologies permettront de moderniser et de diversifier les industries existantes tout en en créant de nouvelles. Les biotechnologies présentent des possibilités particulières dont pourraient profiter les industries de matières premières, épine dorsale de l'économie canadienne. Ces technologies ont progressé très rapidement au cours des quelques dernières années, et de nombreux spécialistes prédisent que les biotechnologies auront des conséquences au moins aussi importantes que la révolution de l'information.

L'intérêt que le Conseil des sciences porte à la biotechnologie remonte au début des années 1980. En 1982, après une étude préliminaire sur la question*, le Conseil a entrepris une étude capitale sur la biotechnologie et les industries canadiennes de matières premières. Il poursuivait alors un triple objectif : souligner les répercussions possibles de la biotechnologie sur l'économie nationale et sur le contexte environnemental et social canadien; élaborer des politiques susceptibles d'accroître au maximum les avantages socio-économiques découlant de l'adoption des techniques biologiques de pointe par les industries de matières premières; et encourager la formation d'une communauté de biotechnologistes dynamique et bien intégrée.

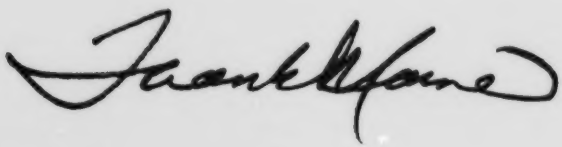
Le présent rapport est fondé sur des études de cas portant sur l'agriculture végétale et l'industrie des pâtes et papiers. Cette approche a permis au Conseil de mettre en relief les possibilités et les contraintes liées à l'adoption de la biotechnologie par les industries de matières premières en général, et de formuler des recommandations en fonction des besoins propres de chacune de ces deux industries. Par la même occasion, le Conseil est parvenu à identifier les grandes actions à entreprendre pour permettre au secteur primaire d'exploiter pleinement les biotechnologies.

Au cours de l'étude, le Conseil a organisé des ateliers sur l'application de la biotechnologie à l'agriculture, à l'industrie des pâtes et papiers, à la foresterie et à la constitution de banques de souches. Il a également fait rédiger des rapports manuscrits sur des sujets variés allant de l'adoption de la biotechnologie par les sociétés semencières aux techniques biotechnologiques de pointe dans le secteur des pâtes et papiers. Les agents de projet ont rencontré des représentants du gouvernement, des universi-

* En 1980, le Conseil des sciences et l'Institut de recherches politiques ont parrainé conjointement un atelier sur le thème : « Les promesses et les aléas de la biotechnologie au Canada ». Les débats avec les principaux intervenants du secteur de la biotechnologie ont encouragé le Conseil à approfondir certaines questions soulevées lors de l'atelier. D'une étude connexe sur les sciences et le processus juridique est né le rapport intitulé *Le pouvoir de réglementation et son contrôle—Sciences, valeurs humaines et décisions* (1982), dans lequel on examinait les incidences effectives et possibles de la biologie sur la société contemporaine. Un exposé à débattre, *La réglementation des recherches sur la recombinaison génétique* (1983), basé sur l'étude de la situation dans trois pays, soulevait également certaines questions relatives à la biotechnologie.

taires, des industriels et d'autres personnes un peu partout au Canada afin de les interroger sur l'avenir des biotechnologies. Grâce à une série de discours et d'articles de journal ou de revue, le public a été tenu au courant des progrès de l'étude. Le Conseil a entendu les représentants de tous les groupes intéressés et il a encouragé la discussion entre les membres de la communauté biotechnologique.

Au terme de cette étude, le Conseil était persuadé que les biotechnologies pouvaient améliorer la qualité de la vie au Canada. Ce rapport identifie les secteurs les plus prometteurs pour le Canada et décrit quelques-uns des avantages qui pourraient découler de ces nouvelles technologies sur le plan environnemental. Il montre comment le Canada pourrait tirer parti des possibilités qu'offrent les biotechnologies en éliminant les obstacles qui se dressent sur son chemin, que ce soit au plan institutionnel ou législatif ou bien au niveau des attitudes.



Frank Maine
Président
Comité d'étude de la biotechnologie

Chapitre 1

Les biotechnologies : l'enjeu

La biotechnologie pourrait bien être la dernière grande révolution technologique du XX^{e} siècle. Déjà, on commence à en récolter les fruits. Les travaux se poursuivent à une cadence accélérée; les possibilités sont énormes et suscitent l'enthousiasme.

Le Conseil des sciences croit que les Canadiens doivent saisir l'occasion offerte par les biotechnologies afin d'améliorer la position concurrentielle du Canada sur les marchés mondiaux. Le présent rapport explore les possibilités de la biotechnologie pour les industries de matières premières et préconise la concentration de l'élan biotechnologique sur les points forts de ce secteur de l'économie. Les exemples tirés de l'agriculture ainsi que de l'industrie des pâtes et papiers montrent que l'application des techniques de pointe en biologie peut revivifier ces industries, alors que la situation inverse ne peut qu'affaiblir la position économique du pays.

Face à l'élan donné à la R et D biotechnologique dans le monde, le déploiement d'un solide effort de R et D de la part du gouvernement est essentiel à un transfert optimal des avantages de la biotechnologie à la société. Les États-Unis eux-mêmes reconnaissent l'importance de l'appui gouvernemental, et ce, malgré la forte présence des sociétés privées. Le fait que la recherche fondamentale constitue le noyau de la biotechnologie et que les grandes entreprises éprouvent de la réticence à injecter des fonds à ce niveau laisse principalement cette responsabilité au secteur public.

Ce rapport décrit les possibilités que les industries de matières premières canadiennes pourraient exploiter si le gouvernement et les entreprises privées collaboraient en vue d'une adoption rapide et agressive des techniques biologiques de pointe. Il présente des recommandations précises susceptibles de favoriser le développement d'une communauté biotechnologique bien intégrée et dynamique, identifie les obstacles à l'adoption de la biotechnologie et indique comment surmonter ces derniers. Il montre également comment le Canada peut tirer parti de ses ressources limitées en R et D pour réaliser pleinement le potentiel de la biotechnologie.

La réalité

La biotechnologie fait rapidement de la fiction une réalité. Le dépistage précoce de certaines maladies comme le cancer du poumon est désormais possible. Les diabétiques peuvent maintenant se soigner non pas avec de l'insuline d'origine animale, mais avec de l'insuline humaine synthétisée dans des cuves de fermentation par des bactéries génétiquement modifiées. Les agriculteurs protègent leurs veaux dès la mise bas au moyen de vaccins produits par la biotechnologie et récoltent des variétés rustiques et

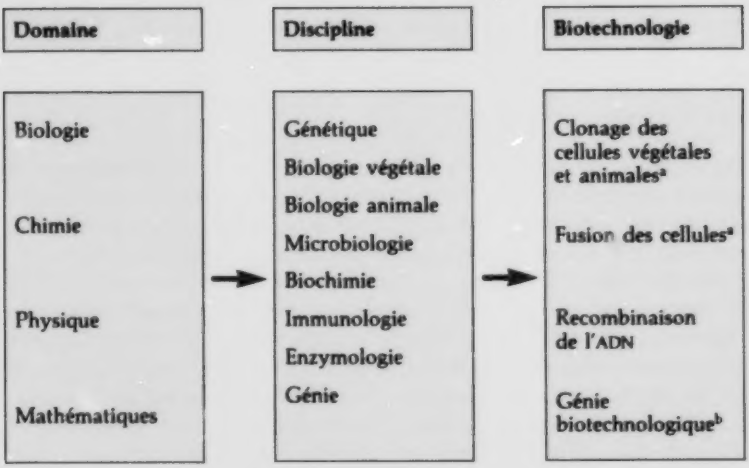
nutritives de maïs, de tomate et d'orge créées par manipulation génétique. Les forestiers recourent à des antiparasitaires d'origine biologique. Les pisciculteurs appliquent des techniques biologiques pour accroître le rendement de l'aquaculture commerciale. L'extraction des minéraux par des micro-organismes permet aux métallurgistes d'économiser de l'énergie et des capitaux et réduit par la même occasion la pollution. Par ailleurs, il est possible de parer aux aléas des technologies existantes (déversements de pétrole, déchets toxiques et émissions nauséabondes des papeteries) grâce à des produits d'origine biologique. Les progrès se succèdent à une cadence beaucoup plus rapide que prévue. Bien que les ventes de produits biotechnologiques dans le monde n'aient été évaluées qu'à 50 millions $ en 1984[1], on pense qu'elles atteindront la marque des 180 milliards en l'espace de 10 ans.

Comme le révèle la figure 1, la biotechnologie repose sur les sciences de la vie et le génie. Au cours des 5 à 10 prochaines années, ses applications industrielles devraient s'étendre à une vaste gamme de secteurs, dont les produits pharmaceutiques, l'agriculture, la chimie fine, les additifs alimentaires, les produits du bois, la bio-électronique et l'aquaculture. Les nouvelles techniques créeront des produits entièrement nouveaux, des sources plus abondantes et moins coûteuses de produits connus, ainsi que des procédés industriels plus sûrs appelés à remplacer ceux actuellement en usage. Ainsi, on pourra assister à l'apparition de médicaments contre le cancer, d'hormones de croissance, de meilleurs traitements pour l'hypertension artérielle, de vaccins contre la fièvre aphteuse, d'espèces ligneuses génétiquement supérieures et de maïs à plus haute qualité nutritive. Il faut également prévoir une vaste série d'applications environnementales (dépollution, gestion des déchets toxiques, lixiviation des minéraux, et le reste), qui auront un effet direct sur les industries de matières premières[2].

L'application de la biotechnologie aux industries de matières premières suscite un grand intérêt commercial partout dans le monde. Rien qu'au Canada, la valeur annuelle des produits obtenus par la biotechnologie pourrait dépasser 20 milliards $ en moins de 10 ans. En outre, plus de la moitié de cette somme pourrait venir de l'agro-alimentaire[3].

La biotechnologie pourrait avoir de grandes retombées sur l'économie, comme l'illustre la fixation biologique de l'azote. Les agriculteurs du monde subviennent aux besoins d'azote des plantes en utilisant environ 60 millions de tonnes d'engrais azoté chaque année. D'ici à l'an 2000, la quantité d'engrais pourrait atteindre le volume annuel de 160 millions de tonnes. La fabrication des engrais azotés consomme une grande quantité d'énergie et le prix de ces produits a connu une escalade rapide au cours des dernières années. Ainsi, les agriculteurs canadiens y consacrent annuellement 500 millions $[4]. Même si la fixation biologique de l'azote peut diminuer les coûts de production agricole, elle laisse planer sur l'industrie chimique la menace d'une grave érosion du marché. Par conséquent,

Figure 1: La biotechnologie et ses disciplines



Remarques : [a] Y compris les méthodes classiques de culture cellulaire utilisées par les phytogénéticiens pour créer de nouvelles variétés.
[b] Y compris les méthodes habituelles de fermentation utilisées pour fabriquer le vin et le fromage.

Définition :
La biotechnologie n'est pas une industrie mais une activité scientifique pluridisciplinaire susceptible de profiter à plusieurs industries. Pratiquement tous les rapports sur la biotechnologie y vont de leur définition. L'Organisation de coopération et de développement économiques souligne qu'il existe beaucoup de confusion et d'idées préconçues à ce niveau et conclut que la biotechnologie peut être considérée comme « l'application des principes de la science et de l'ingénierie au traitement de matières par des agents biologiques dans la production de biens et de services »*. Cette définition reste néanmoins fort vague.

Dans la langue moderne, la biotechnologie désigne un éventail de techniques nouvelles issues des sciences de la vie (en particulier de la microbiologie, de la biochimie et de la génétique), ainsi que des génies biochimique et chimique, et appliquées à des industries variées. Ces industries exploitent toutes diverses techniques depuis des siècles. Beaucoup de techniques associées au concept moderne de la biotechnologie, comme la culture cellulaire et la fermentation, sont très anciennes. La nouveauté réside dans l'élaboration de techniques axées sur la recombinaison de l'ADN, la fusion cellulaire, le clonage des cellules végétales et animales ainsi que le génie biotechnologique. Ces techniques assurent un contrôle plus étroit des mécanismes biologiques, une évolution plus rapide et la création d'un grand nombre de produits et de services qu'il serait autrement impossible d'obtenir au moyen des techniques classiques.

*A.T. Bull, G. Holt et M.D. Lilly, *La biotechnologie — Tendances et perspectives internationales* (Paris, Organisation de co-opération et de développement économiques, 1982), 23.

un grand nombre de multinationales de l'industrie chimique poursuivent des recherches en vue de créer de nouvelles espèces végétales capables de fixer l'azote. Ces sociétés ont compris que la biotechnologie changerait la façon même dont le secteur des matières premières réalise des profits[5] et se sont tournées vers la recherche afin de protéger leurs intérêts.

La scène internationale

Beaucoup de pays ont mis en place des programmes de recherche et de développement intensifs en biotechnologie. L'intérêt porté à cette nouvelle science s'est traduit par une abondance de rapports gouvernementaux, d'études d'organismes internationaux et d'articles de périodiques scientifiques ou financiers. En ce qui concerne l'exploitation commerciale de la biotechnologie, les États-Unis mènent le bal[6] grâce au grand nombre de nouvelles firmes spécialisées en biotechnologie qu'on y trouve et à l'importante participation des grandes sociétés. Toutefois, le Japon, l'Allemagne de l'Ouest, la Suisse, le Royaume-Uni et la France demeurent d'importants rivaux et il est possible que l'un de ces pays ait déjà pris les devants pour certains produits.

Les États-Unis sont le seul pays où le capital-risque investi dans les petites entreprises à risques très élevés joue un rôle important dans le développement de la biotechnologie. Au Japon et en Europe, ce sont les sociétés bien établies qui ont étendu leurs ramifications dans ce secteur et qui dominent la recherche. Les puissants trusts agro-alimentaires du Japon (comme Kikkoman, Kyowa Hakko et Toyo Jozo) ont derrière eux une longue tradition d'efficacité dans les recherches sur la fermentation pour la fabrication de la sauce soja, du saké et d'autres produits. Ces sociétés appliquent maintenant leurs talents à la fabrication de produits pharmaceutiques par la biotechnologie moderne[7].

En Europe, ce rôle est principalement assumé par les multinationales comme Hoechst (Allemagne de l'Ouest), Elf-Aquitaine (France), Imperial Chemical Industries (Royaume-Uni) et Hoffmann-La Roche (Suisse). Leurs intérêts vont des produits pharmaceutiques à la chimie fine en passant par les additifs alimentaires, l'amélioration génétique des cultures et les protéines unicellulaires. En raison du marché (et des profits) énormes, les produits pharmaceutiques constituent la cible principale des investissements, alors qu'on néglige considérablement la biotechnologie agricole[8]. Parce qu'ils font l'objet d'exigences moins sévères sur le plan des essais, les produits vétérinaires et les produits de diagnostic médical* parviennent généralement beaucoup plus vite sur le marché que les médicaments proprement dits. Une multitude de sociétés orientent leurs plans d'inves-

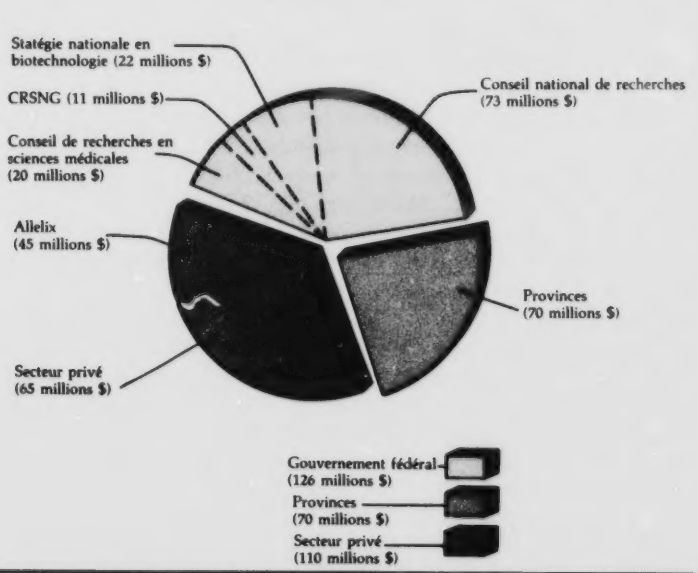
* Produits chimiques utilisés pour dépister les maladies

tissement vers les produits de diagnostic de manière à réaliser des profits plus rapides, quoique moindres. Ainsi, elles parviennent à améliorer leur flux monétaire jusqu'à ce que les nouveaux médicaments atteignent le marché[9].

La scène canadienne

On estime que les nouveaux fonds consacrés ou réservés à la biotechnologie se situent entre 300 et 350 millions $ pour l'ensemble des secteurs canadiens en 1983-1984 (figure 2). Au cours de cette période, le gouvernement fédéral a affecté 95,5 millions $ à la stratégie nationale en matière de biotechnologie et aux installations exploitées par le Conseil national de recherches. En outre (parallèlement à la stratégie), le Conseil de recherches médicales a versé 20 millions $ pour des projets reliés à la biotechnologie et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie a octroyé des bourses s'élevant à 11 millions $ pour des travaux dans le même domaine. De leur côté, les provinces ont injecté ou mis de côté environ 70 millions $ dans le même but. Le secteur privé, notamment les sociétés de capital-risque, y a consacré approximativement 110 millions $, dont

Figure 2 : Estimation des nouveaux fonds consacrés à la biotechnologie au Canada, 1983-1984



Source : données compilées.

45 millions $ versés par la Corporation de développement du Canada à Allelix (une société de biotechnologie de Toronto conjointement financée par la Corporation de développement du Canada, Labatt et le gouvernement ontarien). Au cours de la même période, les sociétés canadiennes et les capitalistes à risque ont investi environ 50 millions $ dans la biotechnologie aux États-Unis.

Sur l'ensemble des fonds engagés pour la biotechnologie au Canada en 1983-1984, 40 pour cent environ (126 millions $) sont d'origine fédérale. L'apport de l'État représente environ trois pour cent des fonds fédéraux totaux consacrés aux sciences et à la technologie. (À titre de comparaison, mentionnons que le gouvernement fédéral a consacré 4,5 pour cent de son budget à la défense nationale, 7,5 pour cent à la santé et 12,1 pour cent à l'énergie.)[10]

Il est difficile de discerner une tendance dans les investissements du secteur privé au niveau de la biotechnologie au Canada. Toutefois, une enquête récente du Conseil des sciences a révélé quelques faits intéressants. Ainsi, sur les 258 entreprises qui mènent des travaux de R et D en génie, en pharmacologie et en agro-alimentaire, 33 seulement (13 pour cent) s'intéressent à la biotechnologie. Sur le reste, 18 ont l'intention d'entreprendre des projets de R et D en biotechnologie au cours des cinq prochaines années.

Suivant en cela la tendance internationale, quelques petites entreprises se sont constituées en vue d'exploiter le marché des produits de santé et des trousses de diagnostic pour l'homme et les animaux. D'autres firmes comme Agrogen de Vancouver, Allelix de Toronto et les Laboratoires Rhizotec de Québec s'intéressent directement aux richesses naturelles, en particulier aux végétaux. Quelques grandes sociétés bien établies, principalement du secteur des aliments et des boissons, examinent les méthodes biotechnologiques qui leur permettraient de consolider la gamme actuelle de leurs produits et éventuellement de la diversifier[11]. Dans le secteur des mines, les seuls projets commerciaux à faire appel à la biotechnologie sont ceux de PM Mineral Leaching Technologies, une nouvelle entreprise de Colombie-Britannique qui tente de mettre au point un procédé d'extraction des métaux précieux par lixiviation biologique, de Denison Mines, qui poursuit l'élaboration d'une méthode de récupération biologique de l'uranium, et de DeVoe-Holbein/John Brown BV, qui se sert d'analogues synthétiques des protéines pour purger les eaux usées industrielles des métaux radioactifs et toxiques. Enfin, les sociétés Seagrams et Noranda ont investi dans des sociétés de biotechnologie américaines, et Inco les a imitées avec une entreprise suisse-américaine.

La biotechnologie et le gouvernement

Le rapport remis en 1981 par le Groupe de travail sur la biotechnologie au ministère d'État aux Sciences et à la Technologie[12] identifiait certaines

lacunes aux niveaux de la base de recherches, des programmes fédéraux, des règlements et du secteur privé. Il renfermait également des recommandations précises susceptibles de combler ces lacunes, y compris un plan national de développement de la biotechnologie échelonné sur 10 ans dans lequel le gouvernement fédéral aurait injecté 33 millions $ la première année et 50 millions chaque année subséquente.

Dans une réponse tardive au rapport, le gouvernement annonçait, en mai 1983[13], la mise en place d'une stratégie nationale en matière de biotechnologie dont le budget total se chiffrerait à 22 millions $. Conformément aux recommandations du groupe de travail, on y identifiait les domaines qui présentaient une importance stratégique pour le Canada, par exemple la fixation de l'azote et la création de variétés végétales, l'utilisation de la cellulose, la lixiviation des minéraux et la récupération des métaux, ainsi que les produits de santé pour l'homme et les animaux. Pour éveiller l'intérêt dans ces domaines, on affecta 6,1 millions $ à l'intensification des programmes en vigueur au sein des ministères et des organismes fédéraux, à la promotion de l'interaction entre les ministères, les universités et le secteur privé, ainsi qu'à la création de réseaux de recherche dans chaque secteur stratégique (tableaux 1 et 2). En outre, on prévoyait utiliser 15,4 millions $ pour mettre sur pied un nouveau programme de biotechnologie qui devait se greffer au Programme des projets industrie/laboratoires (PPIL) du Conseil national de recherches en vue d'encourager l'application commerciale des résultats expérimentaux. Un comité consultatif national de 25 membres issus de différents secteurs (dont 8 du secteur privé) a été mis sur pied afin de conseiller le ministre d'État aux Sciences et à la Technologie sur le développement de la biotechnologie. Par ailleurs, on a créé un comité interministériel dont le rôle devait consister à coordonner toutes les activités fédérales appuyant la stratégie nationale en matière de biotechnologie.

Tableau 1: Fonds (débloqués et prévus) accordés aux ministères et aux organismes fédéraux dans le cadre de la Stratégie nationale en biotechnologie (1983-1984 et 1984-1985) ($000s)

	But de l'affectation			
Ministère	**Consolidation**	**Interaction**	**Réseaux**	**Total**
Agriculture	2323,5	717,0	75,0	3115,5
Énergie, Mines et Ressources	—	333,0	50,0	383,0
Environnement	776,0	—	—	776,0
Pêches et Océans	188,9	4,0	—	192,9
Santé et Bien-être social	407,4	185,1	25,0	617,5
Conseil national de recherches	400,0	592,0	50,0	1042 0
	4095,8	1831,1	200,0	6126,9

Tableau 2: Réseaux de recherche en biotechnologie

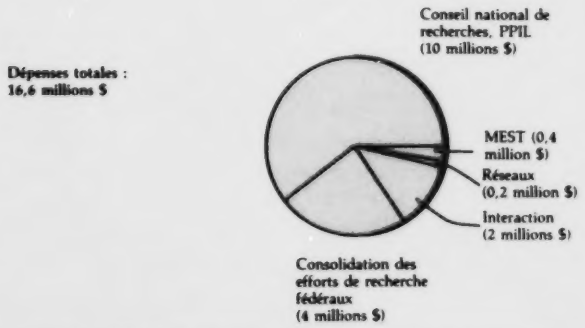
Thème	Parrain
Fixation de l'azote Création de variétés végétales	Agriculture Canada
Nouveaux aspects de l'utilisaton de la cellulose Traitement et utilisation des déchets	Conseil national de recherches
Lixiviation des minéraux et récupération des métaux	Énergie, Mines et Ressources
Produits de santé pour l'homme et les animaux	Agriculture Canada et Santé et Bien-être social

Toutefois, sur le budget total de 22 millions $ prévu, 16,6 millions seulement sont allés au programme de deux ans (figure 3). En effet, l'affectation de fonds supplémentaires au PPIL du Conseil national de recherches a soulevé certaines difficultés, les critères de sélection des participants industriels ayant été mal définis et les nouveaux volets du programme n'ayant pu être présentés à temps pour que les participants puissent utiliser la totalité des fonds.

Pour compléter la stratégie nationale, on a autorisé le Conseil national de recherches à intensifier ses efforts en biotechnologie par la mise en place de trois projets distincts[14] (figure 4), soit :

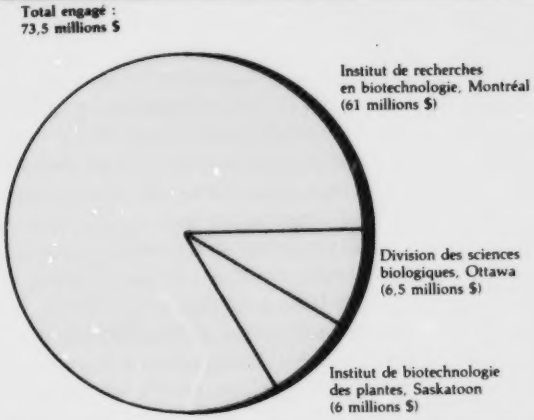
- création d'un institut de recherches en biotechnologie de 61 millions $ à Montréal;
- agrandissement du laboratoire de la région des Prairies, à Saskatoon, et transformation de celui-ci en Institut de biotechnologie des plantes au coût de 6 millions $;
- consolidation de la Division des sciences biologiques du Conseil national de recherches à Ottawa (6,5 millions $).

Figure 3 : Fonds consacrés à la Stratégie nationale en biotechnologie (1983-1985)



Source : données compilées.

Figure 4 : Intensification des recherches en biotechnologie par le Conseil national de recherches en 1983



Source : Conseil national de recherches du Canada, *Budget des dépenses* (Ottawa, 1984).

Lorsque l'Institut de recherches biotechnologiques de Montréal sera inauguré en 1986, plus de 550 employés du Conseil national de recherches s'occuperont de biotechnologie. Le Conseil se sera ainsi doté du plus vaste service de biotechnologie au monde. Pour veiller au développement de son programme, le Conseil a créé un comité associé de biotechnologie dont cinq des membres feront également partie du comité consultatif national. Par ailleurs, chaque laboratoire de biotechnologie du Conseil national de recherches comprend un comité consultatif chargé d'orienter l'élaboration des programmes.

Le nouvel Institut de biotechnologie des plantes de Saskatoon met implicitement l'accent sur l'agriculture. Sa tâche précise consiste à effectuer des recherches en biotechnologie végétale industrielle, forestière et agricole au Canada. Par contre, l'Institut de recherches biotechnologiques créé en 1983 ne poursuit pas d'objectif particulier et n'a dévoilé de stratégie provisoire qu'à l'automne de 1984[15]. L'institut de Montréal mènera des recherches fondamentales et appliquées axées sur le développement industriel. On prévoit réaliser des projets conjoints avec l'industrie et entreprendre des recherches en collaboration avec l'Institut de biotechnologie des plantes et la Division des sciences biologiques du Conseil national de recherches. La nature exacte des travaux n'a pas été précisée, mais on se basera sur les possibilités économiques des applications biologiques. Ces dernières, identifiées par le Conseil national de recherches, toucheront le secteur des matières premières et plus particulièrement l'agro-alimentaire, la foresterie et l'industrie des pâtes et papiers, ainsi que la pétrochimie.

La stratégie nationale en matière de biotechnologie et les fonds accordés au Conseil national de recherches pour ses travaux en biotechnologie représentent un appui massif pour la recherche publique, mais non pour les universités ou le secteur privé. L'une des caractéristiques de nombreuses initiatives fédérales est de ne créer qu'un « élan » technologique. Ainsi, on fait peu de choses pour favoriser la coopération entre les gouvernements, l'industrie et les universités, ou pour résoudre l'un des grands problèmes du Canada dans le domaine de la technologie de pointe, c'est-à-dire celui de répondre à « l'attraction » du marché par l'application commerciale des résultats expérimentaux.

Pour être juste, soulignons que le gouvernement a bien adopté certaines mesures visant à promouvoir la coopération intersectorielle et le développement commercial. Il a débloqué des fonds supplémentaires pour les projets de biotechnologie qui s'insèrent dans le PPIL du Conseil national de recherches, destiné à l'industrie, et a demandé à cette dernière d'assumer l'équivalent d'au moins 20 pour cent du coût total des projets. Vingt-cinq pour cent du coût global de chaque projet doivent servir à financer des recherches universitaires, ce qui oblige l'industrie à trouver un parrain universitaire.

Le financement des travaux universitaires en biotechnologie a été accru grâce aux fonds de près de 11 millions $ engagés en 1983-1984 par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG). Cet organisme, tout comme certains autres, dont le Conseil de recherches médicales, joue un rôle capital pour le soutien de la recherche fondamentale, mais il revêt une importance particulière pour les industries de matières premières. Depuis 1979-1980, le budget de recherche orientée a progressé de plus de 230 pour cent[16]. Cette croissance s'est surtout manifestée au niveau du Programme des subventions thématiques. En 1984-1985, 68 subventions d'un total de 3,6 millions $ (11 pour cent de l'ensemble des subventions thématiques) sont allées à des projets de biotechnologie[17]. Bien que près du tiers des fonds ait été consacré à des recherches à caractère médical, l'agro-alimentaire et les sciences animales en ont absorbé plus de 23 pour cent[18]. Dans l'ensemble, le CRSNG soutient un vaste éventail de projets de recherche biotechnologique qui trouvent leur application dans les industries de matières premières, y compris la fixation de l'azote, l'utilisation de la biomasse, le traitement des déchets et la récupération des minéraux. Malheureusement, le niveau général de soutien demeure trop faible[19].

Notre arrivée tardive sur la scène biotechnologique s'est révélée fort coûteuse. À l'échelon international, la tentative du Canada de se ménager une place dans les secteurs stratégiques de la recherche souffre de son incapacité à concurrencer les autres pays pour acquérir les services des chercheurs et des directeurs de projet chevronnés. Au pays même, la lenteur avec laquelle le gouvernement fédéral a réagi aux besoins dans ce secteur a vivement désappointé la communauté scientifique en biotechnologie.

L'inaction a entraîné la frustration et quelques chercheurs de haut calibre ont quitté le pays pour se forger un meilleur avenir ailleurs.

L'absence d'objectifs clairs pour les nombreux programmes en place a affaibli l'effort gouvernemental. En mettant l'accent sur les industries de matières premières au niveau des secteurs stratégiques et des réseaux identifiés, on a recoupé les efforts déployés par des provinces qui, parfois de concert avec des sociétés de développement urbain ou de technologie, se sont attaquées à des domaines présentant pour elles un intérêt particulier : l'agriculture en Alberta, en Ontario et en Saskatchewan; l'agriculture et la foresterie au Québec; les pêches, les mines et les forêts en Colombie-Britannique. Dans la stratégie nationale en matière de biotechnologie, on n'a pas tenu compte de ces initiatives et on n'a pas cherché à élaborer un plan cohérent pour l'ensemble du pays.

La plupart des provinces accomplissent déjà des travaux en biotechnologie, qu'il s'agisse de la culture de champignons exotiques sur des déchets de cellulose au B.C. Research ou de l'utilisation d'enzymes marins en fromagerie à l'université Memorial de Terre-Neuve. Les projets provinciaux qui encouragent la recherche biotechnologique dans les industries de matières premières sont essentiels au développement de cette nouvelle science. Non seulement les provinces ont-elles, de par la constitution, la mainmise sur leurs richesses naturelles, mais encore elles ont toute autorité en matière d'éducation.

Le Québec et la Saskatchewan possèdent de grands laboratoires fédéraux de biotechnologie; ces deux provinces disposent aussi de stratégies bien articulées qui se concentrent sur le secteur des matières premières et illustrent bien la portée des activités provinciales.

Le Québec a reconnu que l'absence d'une solide infrastructure industrielle nuirait à l'essor de la biotechnologie et a donc recouru à la société d'État, un mécanisme qui a fait ses preuves, pour créer une industrie biologique. Ainsi, tout récemment, la Société québécoise d'initiatives agro-alimentaires (SOQUIA) a constitué une filiale, la Société québécoise des biotechnologies agro-alimentaires (BIO-AGRAL). Cette nouvelle société aidera les petites et moyennes entreprises à tirer parti de la biotechnologie dans le secteur de l'alimentation. Par ailleurs, un rapport récent sur l'industrie forestière du Québec mentionnait la biotechnologie comme un important facteur de développement[20] et on s'attend à ce qu'un autre rapport propose des moyens précis pour exploiter ces possibilités. Ces différentes initiatives s'inscrivent dans un programme quinquennal de développement biotechnologique pour lequel on a débloqué de 35 à 40 millions $. Le Québec et la France ont également ratifié une entente de cinq ans visant à encourager la coopération au niveau des programmes de formation et l'échange d'information. Enfin, un livre blanc sur la biotechnologie[21] a montré la nécessité de liens plus étroits entre le secteur privé et les universités et a recommandé l'identification et le financement de centres d'excel-

lence dans les établissements de recherches québécois afin de soutenir la formation en biotechnologie.

De son côté, la Saskatchewan a élaboré une stratégie qui lui permettra d'accélérer l'application commerciale de la biotechnologie, en particulier en agriculture, en collaboration avec le gouvernement fédéral. Cette province travaille déjà à la ratification d'une entente technologique fédérale-provinciale avec le ministère de l'Expansion industrielle régionale, et un comité consultatif de biotechnologie a été mis sur pied afin de coordonner les activités des différents intervenants dans la communauté biotechnologique. À ce niveau, les grands participants fédéraux sont Agriculture Canada et le Conseil national de recherches. Le Saskatchewan Council of Biotechnology, organisme conçu pour assurer la liaison entre les entreprises privées de la province et les groupes de recherches publics, encourage le secteur privé à participer à l'effort de recherche. Pour compléter le tout, l'université de la Saskatchewan envisage d'instituer un nouveau programme de spécialisation en biotechnologie qui ferait appel à divers départements.

Les ententes auxiliaires sur la biotechnologie qui s'insèrent dans une vaste stratégie technologique adoptée conjointement par le Canada et la Saskatchewan sont une bonne façon de minimiser la duplication et la fragmentation de ressources déjà rares. Il faut plus de projets bilatéraux de cette sorte. Les politiques et les programmes élaborés par les provinces résultent souvent, du moins en partie, de l'incertitude permanente qui plane sur les objectifs à long terme des politiques fédérales en matière de biotechnologie.

Possibilités dans le secteur des richesses naturelles

La biotechnologie changera la face du commerce international. C'est pourquoi divers pays tentent de trouver des créneaux au sein du marché en fixant des priorités pour le financement de la R et D. Le Canada doit les imiter.

Jusqu'à présent, le Canada jouissait d'un avantage comparatif sur les marchés internationaux en raison de l'abondance de ses matières premières. Toutefois, cet avantage est minime. La rigueur et la longueur de l'hiver, le permagel, la stérilité du sol et beaucoup d'autres facteurs restreignent gravement l'exploitation des terres, de sorte que 13 pour cent seulement de la superficie du pays se prête à l'agriculture. Beaucoup d'essences ligneuses prennent 5 fois plus de temps pour parvenir à maturité que dans le Sud des États-Unis. Les zones les plus riches sont souvent très éloignées du marché et les frais de transport sont élevés.

Le faible avantage comparatif que possédait le Canada s'amenuise[22]. Dans certaines régions, des erreurs de jugement et une exploitation abusive des richesses naturelles—surexploitation des fonds, érosion du sol et déboisement excessif—ont miné les industries de matières premières sans

que le Canada dispose d'un secteur de la transformation assez fort sur lequel miser. Les réserves canadiennes de certaines matières premières s'épuisent et notre compétitivité sur les marchés internationaux fléchit à un rythme encore plus rapide. La concurrence des États-Unis (agriculture), du Chili (mines) et de la Suède (pâtes et papiers) menace la part traditionnelle du Canada dans le commerce international des matières premières et affaiblit la position qu'il occupait depuis longtemps sur les principaux marchés (figure 5). Si la tendance ne se renverse pas, le Canada pourrait sombrer dans le marasme économique.

La biotechnologie pourrait éroder certains marchés de matières premières en améliorant l'autonomie de nos partenaires commerciaux traditionnels. Une forte hausse de la céréaliculture en Union soviétique ou en Chine, par exemple, pourrait avoir un effet dramatique sur la demande de blé canadien. Par ailleurs, un grand nombre de concurrents du Canada se sont lancés à corps perdu dans la biotechnologie pour répondre aux besoins de leurs propres industries de matières premières. Le Royaume-Uni et les États-Unis appliquent cette nouvelle science à l'agriculture alors que la Nouvelle-Zélande et les pays scandinaves se rendent compte de ce qu'elle pourrait apporter à la foresterie et au secteur des pâtes et papiers. En s'engageant résolument sur la voie de la biotechnologie, le Canada pourrait freiner le recul de ses industries de matières premières et consolider sa situation sur le marché mondial. En outre, il pourrait se servir de ses richesses naturelles pour créer une gamme de nouvelles industries misant sur les connaissances.

Le Canada devrait être bien placé pour se tailler une place sur le marché mondial embryonnaire des produits biotechnologiques comme les nouvelles semences hybrides, les cultures résistant au stress, les nouveaux produits des pâtes et papiers, les arbres à croissance rapide et les nouveaux procédés biologiques d'extraction des minéraux. Son expertise habituelle dans le secteur des matières premières présente des avantages inhérents et on a déjà engagé certains fonds dans les nouvelles techniques. Toutefois, le Canada ne se caractérise ni par une forte industrie ni par une participation intensive de cette industrie à la R et D[23]. En outre, la hausse des investissements dans les projets de R et D en biotechnologie survient après des années de coupures dans le domaine des recherches publiques, dans une communauté universitaire manquant sérieusement de fonds.

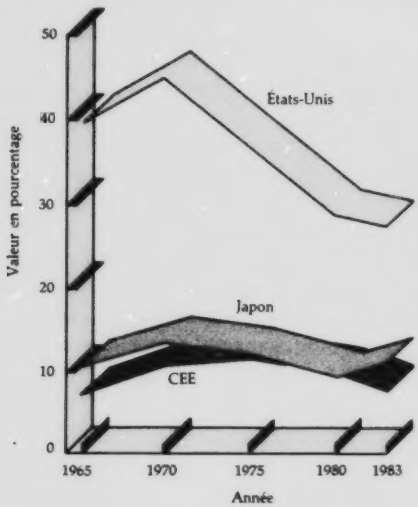
Aucun but ni objectif national en biotechnologie n'a encore été défini clairement. Bien qu'on ait entrepris la construction de nouveaux bâtiments, le chercheur manque d'argent pour poursuivre ses travaux. Par conséquent, les fonds servent à des fins très vagues.

L'agriculture et le secteur des pâtes et papiers

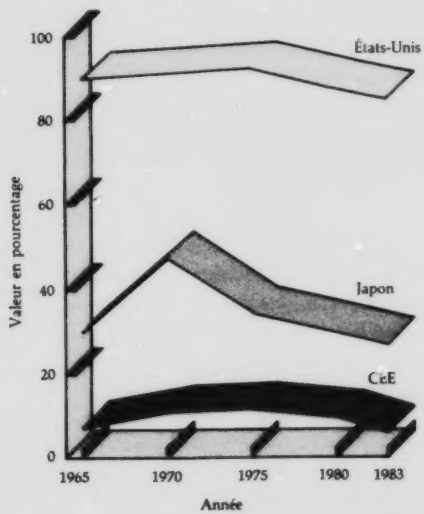
Toutes les industries de matières premières devraient être métamorphosées par la biotechnologie[24]. Nous choisirons l'agriculture (les productions

Figure 5 : Part canadienne de certains marchés importants du secteur primaire, 1965-1983.

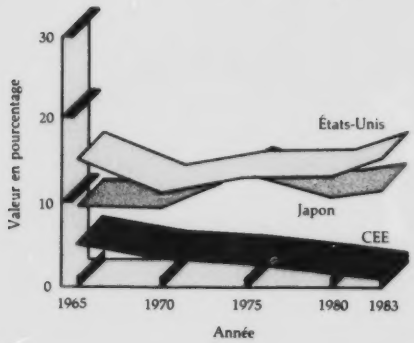
5a : Exportations canadiennes de métaux aux États-Unis, au Japon et à la Communauté économique européenne



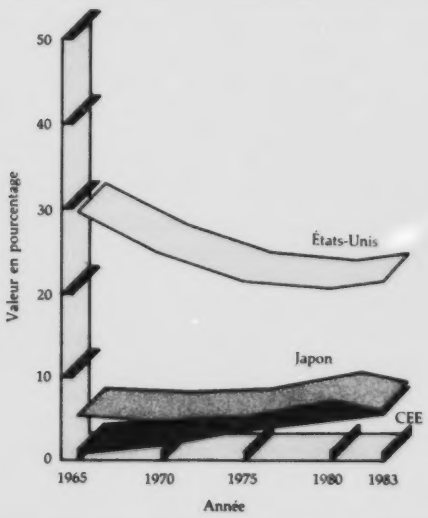
5b : Exportations canadiennes de pâtes et papiers aux États-Unis, au Japon et à la Communauté économique européenne



5c : Exportations canadiennes de produits agricoles aux États-Unis, au Japon et à la Communauté économique européenne



5d : Exportations canadiennes de produits du poisson aux États-Unis, au Japon et à la Communauté économique européenne



Source : Affaires extérieures, banque de données sur le commerce international.

végétales en particulier) et le secteur des pâtes et papiers pour illustrer les possibilités et les obstacles que l'application des nouvelles techniques peut présenter pour le Canada. Ces deux secteurs ont des points en commun en raison de leur dépendance à l'égard de la nature, mais chacun a suivi

une voie distincte qui diffère tant par la forme que par la structure et l'essence de son système de R et D.

La biotechnologie est à la source de la révolution verte. Les nouvelles techniques réduiront les délais traditionnellement nécessaires pour créer de nouvelles variétés et amélioreront les plantes d'une manière que les méthodes classiques ne pourraient permettre. Le croisement de genres et d'espèces non apparentés et la modification du code génétique des végétaux sont deux techniques fondamentales qui devraient déboucher sur la production d'hybrides à haut rendement et de variétés susceptibles de mieux fixer l'azote, de résister aux maladies ou à la sécheresse ou de mieux tolérer le sel et le froid[25]. La mise en marché de ces variétés améliorées accroîtra le rendement des fonds affectés à la R et D agricole tout en atténuant les risques inhérents à l'agriculture.

Dans le secteur des pâtes et papiers, la biotechnologie pourrait permettre une utilisation plus efficace des arbres, la mise au point de procédés moins polluants et consommant moins d'énergie, la fabrication de nouveaux produits à partir des déchets et des résidus, et la mise au point de nouvelles méthodes de traitement des effluents susceptibles de diminuer les émissions de gaz nauséabonds ainsi que de réduire les dépôts de poix et d'autres substances visqueuses sur les machines. La fabrication d'un papier plus solide et de meilleure qualité par traitement fongique de la pulpe obtenue par des moyens mécaniques pourrait se traduire par des économies considérables pour l'industrie. D'un problème d'élimination coûteux, les déchets des usines de papeterie pourraient se transformer en importante source d'aliments du bétail, en milieu de croissance pour la production d'aliments (par exemple les champignons) ou en source d'additifs alimentaires, de pesticides et de médicaments[26].

Les industries de matières premières doivent intensifier la recherche même si elles utilisent déjà de nouveaux produits ou procédés issus de la biotechnologie (tableau 3). En poussant les travaux de recherche et de développement, on pourrait assister à des progrès capitaux en l'espace de 15 ans. Beaucoup de ces progrès pourraient survenir au cours des cinq prochaines années[27]. D'ici à 1995, la biotechnologie sera la source de la majeure partie des additifs alimentaires; l'amélioration génétique du cheptel par le transfert d'embryons touchera 30 pour cent des bovins; 20 pour cent des cultures canadiennes seront obtenues par des procédés biotechnologiques; et 15 pour cent des aliments du bétail seront fabriqués par des moyens faisant appel à la biotechnologie[28].

Intensification de la recherche fondamentale

La biotechnologie pourrait révolutionner les industries canadiennes de matières premières pratiquement sous tous les aspects. Cependant, malgré les efforts déployés pour corriger la situation, les fonds destinés à la

Tableau 3: Quelques produits et procédés issus de la biotechnologie dans le secteur des matières premières

Secteur	Produits	Procédés
Agriculture	protéines unicellulaires pesticides p. ex. *B. thuringiensis* interféron bovin hormones de croissance anticorps monoclonaux vaccins p. ex. rage diarrhée fièvre aphteuse	culture d'anthères transplantation d'embryons épissage génétique
Foresterie	produits de la biomasse p. ex. protéines unicellulaires éthanol champignons papier mycélien vanilline	traitement des eaux usées sylviculture maturation du bois
Mines		bio-lixiviation p. ex. lixiviation du cuivre
Pétrole	bio-polymères p. ex. polyhydroxybutyrate (PHB)	récupération des huiles tertiaires
Pêches	vaccins anticorps monoclonaux hormones p. ex. hormones sexuelles du saumon	aquiculture

R et D biotechnologique demeurent insuffisants en agriculture et en foresterie. D'autres secteurs qui exploitent les richesses naturelles comme les pêches, les mines et l'eau présentent aussi certaines possibilités en ce qui concerne l'application de la biotechnologie, mais on les connaît mal. Dans l'ensemble, la situation de la recherche n'est malheureusement que trop connue : une faible base industrielle, des projets provinciaux et fédéraux fragmentaires et un financement insuffisant de la recherche universitaire[29].

Bien exploitée, la biotechnologie devrait, comme la micro-électronique, accroître la compétitivité du secteur des matières premières. Comme c'est le cas pour toutes les techniques de pointe, sa réussite commerciale repose sur une solide recherche fondamentale : on ne pourra jamais trop insister sur l'aspect capital des connaissances de base, ce qu'admettent d'ailleurs

largement les milieux industriels[30]. Bien qu'un financement accru dans les sciences de la vie et la biotechnologie ne puisse à lui seul être une garantie de profits, aucune recherche technologique de pointe ne peut progresser sans l'apport des sciences fondamentales. Étant donné les pressions qui s'exercent sur ses richesses naturelles, le Canada doit s'assurer qu'il possède les connaissances de base nécessaires à l'élaboration de la technologie d'exploitation qui garantira sa réussite dans le commerce international. La recherche fondamentale est par tradition du ressort des universités. Pourtant, les politiques fédérales récentes en matière de biotechnologie accordent une part disproportionnée des fonds aux laboratoires publics.

Le Comité consultatif national sur la biotechnologie a envisagé la possibilité de créer des centres d'excellence universitaires et a formulé des recommandations en ce sens au ministre d'État aux Sciences et à la Technologie, mais rien n'a encore été fait. Quelques universités comme celle de Waterloo, l'université McGill et l'université Dalhousie ont pris les devants et créé leur propre département de recherche biotechnologique. Toutefois, les contraintes financières qu'elles subissent les empêchent de constituer des équipes de recherche de calibre mondial. En outre, l'équipement et les matériaux nécessaires aux recherches sont dispendieux. Pour l'instant, peu d'universités canadiennes sont en mesure de mettre sur pied des laboratoires très sophistiqués.

La biotechnologie est un amalgame pluridisciplinaire des sciences biologiques et du génie. Les universités canadiennes ont besoin d'équipes capables de transcender les frontières d'une discipline particulière et de réunir un nombre suffisant (la masse critique) de chercheurs hautement qualifiés pour obtenir de bons résultats. Des équipes de recherche suffisamment nombreuses donneraient en outre aux scientifiques des universités la chance d'acquérir l'expérience administrative qui leur permettrait d'adapter leur savoir-faire au milieu industriel. Par conséquent,

1. On devrait octroyer au Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie un fonds extraordinaire de 15 millions $ par année pendant 10 ans pour lui permettre de créer 5 à 10 équipes pluridisciplinaires dont chacune s'attaquerait à un sujet essentiel à l'avancement de la biotechnologie.

Chaque équipe comprendrait un minimum de cinq scientifiques d'au moins deux universités différentes. La sélection des membres des équipes se ferait par concours ouvert et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie devrait pour cela mettre sur pied un comité d'experts comprenant des représentants d'universités étrangères et du secteur privé canadien.

Stimulation de l'effort industriel de R et D

Un engagement ferme face à la recherche fondamentale est crucial pour le développement d'une communauté biotechnologique dynamique. Toutefois, l'intensification des recherches aura à elle seule peu d'effet sur l'économie si l'industrie ne déploie pas parallèlement les efforts nécessaires pour mettre les résultats expérimentaux en pratique. Ceci soulève le problème général des relations entre universités et industrie et de la mesure dans laquelle les besoins du marché devraient influer sur la recherche universitaire. Ce problème fait actuellement l'objet d'une analyse détaillée du Conseil des sciences dans le cadre d'une étude distincte*.

La réussite commerciale de la biotechnologique au Canada dépend également d'une intensification des travaux de R et D dans l'industrie. Comme il a été dit plus haut, quelques grandes sociétés canadiennes, principalement concentrées dans le secteur des aliments et des boissons, ont déjà entrepris des projets en biotechnologie. D'autres secteurs où la recherche en biotechnologie joue un rôle important, comme l'industrie chimique et l'industrie des pâtes et papiers, se caractérisent par une forte présence étrangère et donc par une activité restreinte au Canada sur le plan de la R et D. Chez les grosses entreprises, la R et D est principalement orientée par les forces du marché et les politiques gouvernementales n'ont qu'une importance secondaire.

Le Canada pourrait néanmoins favoriser une accentuation de la recherche dans les petites et moyennes entreprises, car leurs activités sont plus facilement influencées par les politiques publiques. La capacité de créer une communauté biotechnologique dynamique, que ce soit en facilitant la venue de nouvelles sociétés de biotechnologie ou en adoptant des mesures qui inciteront les entreprises existantes à explorer ce domaine, a bien été illustrée aux États-Unis[31]. En effet, l'apparition d'un nombre suffisant de petites et moyennes entreprises spécialisées explique en partie pourquoi ce pays marque actuellement le pas dans le monde, dans le domaine de la biotechnologie. Toutefois, peu de petites ou moyennes entreprises canadiennes ont les ressources nécessaires pour se lancer dans la recherche biotechnologique sans l'appui du gouvernement. Une enquête récente sur les sociétés canadiennes de haute technologie a révélé que les subventions du gouvernement jouaient un rôle prépondérant pour les entreprises qui s'intéressent aux technologies de pointe (biotechnologie et matériaux de pointe)[32].

Les programmes de partage des coûts entre l'industrie et le gouvernement sont inadéquats en raison des risques et des frais très élevés ainsi que de la longue durée des recherches en biotechnologie. Aux États-Unis, la National Science Foundation a reconnu ce fait et elle exploite un pro-

*La science et la technologie à l'université et l'économie canadienne

gramme, le Small Business Innovation Research Program (SBIR), dont le but précis est de stimuler l'esprit d'innovation dans les petites firmes de haute technologie. Le programme vise à favoriser l'application commerciale des recherches financées par le trésor public et à accroître les avantages économiques et sociaux qui découlent de ces recherches. Ce programme ne repose pas, comme les programmes canadiens, sur le partage des coûts. Au contraire, il prévoit le financement intégral des recherches sur une période déterminée. Il a contribué à doubler le nombre d'emplois dans les sociétés qui bénéficient de l'aide publique et a poussé les entreprises à nouer des liens avec la communauté universitaire au niveau de la recherche[33]. Pour faciliter l'adoption de la biotechnologie par les entreprises existantes (par exemple les firmes semencières) et encourager la création de nouvelles sociétés qui exploiteront les résultats des recherches poursuivies dans les universités et les laboratoires du gouvernement,

2. Le Conseil national de recherches devrait créer un programme d'affermage de 10 millions $ pour soutenir la recherche en biotechnologie dans les petites et moyennes entreprises.

Chapitre 2

Les productions végétales : pour assurer le décollage de la biotechnologie

On effectue relativement peu de recherches en biotechnologie dans le secteur agricole au Canada. Pourtant, l'agriculture est l'une des plus grandes réussites canadiennes. En effet, notre pays se classe bon troisième parmi ceux qui s'occupent du commerce des denrées agro-alimentaires. Toutefois, ce succès nous a fait tomber dans la complaisance : les excédents commerciaux sont devenus chose courante et les consommateurs canadiens profitent d'une abondance de bons aliments à un prix raisonnable. On a oublié que ce succès a été obtenu malgré une réserve limitée de matières premières.

La biotechnologie offre une merveilleuse occasion d'éliminer ce qu'on a jusqu'à présent toujours considéré comme un obstacle géographique à la production, et de s'attaquer aux problèmes environnementaux. La manipulation génétique pourrait permettre aux chercheurs de créer des espèces capables de résister aux maladies, aux désherbants ou aux polluants, voire de tolérer le stress environnemental, notamment la salinité, le froid, les inondations ou la sécheresse. Des cultures vivrières à rendement supérieur et à teneur protéique accrue, dépourvues de toxines, pourraient également voir le jour, de même que des variétés de maïs ou de blé autogames n'ayant pas besoin d'engrais azotés. Enfin, on pourrait introduire au pays des cultures qui y étaient inconnues auparavant.

Devant des possibilités aussi grandes, il est étonnant qu'on ait entrepris si peu de recherches en biotechnologie. Le fait que le Canada réserve une si grande superficie à l'agriculture nous a empêché d'envisager d'autres formes de production qui réduiraient le volume de déchets et stimuleraient l'agriculture dans des régions auparavant impropres à cette activité.

L'État a bien affecté certains fonds, installations et ressources humaines à la recherche biotechnologique. C'est un départ, mais les travaux doivent être intensifiés, concentrés et axés sur des objectifs précis pour rentabiliser cet investissement. Par la même occasion, la réglementation devrait encourager le développement de cette importante technologie de pointe.

Il faut qu'on assiste à une augmentation du nombre de sociétés canadiennes intéressées à la recherche agricole. La création de la firme Allelix au moyen de fonds publics et privés est une approche nouvelle face à ce besoin. En temps voulu, il faudra peut-être créer un autre établissement similaire. Pour l'instant, toutefois, les besoins les plus pressants sont l'accroissement du nombre des entreprises qui exploitent les résultats des

recherches menées dans les laboratoires publics et dans les universités, et l'intensification de la recherche en biotechnologie au sein des sociétés existantes. L'adoption de la recommandation 2 nous permettrait de faire un pas dans cette direction. Toutefois, le présent chapitre comprend d'autres recommandations conçues pour créer un milieu plus propice à un accroissement de la recherche industrielle en biotechnologie agricole.

Le gouvernement et la recherche en biotechnologie

Diverses publications du Conseil de recherche agricole du Canada (CRAC), du ministère d'État aux Sciences et à la Technologie (MEST) et du Conseil des sciences[1] ont examiné l'importance des travaux de R et D biotechnologique accomplis au Canada. En agriculture[2], les efforts de recherche se concentrent surtout sur l'amélioration des productions végétales par culture d'embryons et hybridation de cellules sexuelles de somatiques, bien qu'on note un certain intérêt pour le transfert de gènes entre espèces non apparentées. Les objectifs précis poursuivis à ce niveau comprennent la création de variétés de luzerne tolérant le gel, de lin halophile, de tabac et de betterave sucrière, ainsi que de variétés d'oléagineux, de céréales et d'essences horticoles génétiquement supérieures. Néanmoins, le nombre de projets mis en oeuvre dans chaque domaine reste minime. Ainsi, trois chercheurs seulement travaillent sur la tolérance au sel chez les végétaux (à Calgary, à Kingston et à Saskatoon), alors qu'un seul groupe s'intéresse à la tolérance au gel (l'Alberta Research Council).

On applique également la biotechnologie au dépistage des maladies et à la lutte contre celles-ci et contre les parasites des végétaux, ainsi qu'à la manipulation génétique des variétés qui résistent à la maladie. On étudie les relations symbiotiques qu'entretiennent les plantes avec certains micro-organismes dans l'espoir d'identifier un micro-organisme susceptible de permettre au blé de fixer l'azote. Dans le domaine crucial que représente la fixation biologique de l'azote, plus de la moitié des 200 chercheurs occupent des postes provisoires ou sont en formation[3].

Plus de 100 groupes de recherche s'intéressent à la biotechnologie végétale[4]. Toutefois, les efforts ne sont pas structurés et plusieurs lacunes sont évidentes face aux possibilités que la biotechnologie présente pour l'agriculture canadienne. Ainsi, on consacre relativement peu d'efforts à l'amélioration des céréales, malgré la place prépondérante qu'occupent celles-ci dans l'économie agricole et en dépit du fait que les ventes de blé représentent 30 pour cent du produit total des exportations canadiennes. Les cultures de plein champ constituent pratiquement la moitié des recettes des agriculteurs, mais les recherches sur les légumineuses fourragères comme la luzerne ou le trèfle ou sur les graminées fourragères et d'autres grandes cultures sont relativement restreintes[5].

Les recherches sont également disparates dans d'autres branches de l'agriculture. Par rapport aux autres pays, le Canada tire tellement de l'arrière au niveau de l'application de la biotechnologie à la biologie animale qu'il a dépensé plus de 25 millions $ par année pour importer des produits vétérinaires d'origine biologique[6]. Le plus vaste effort de recherche concerne l'emploi des anticorps monoclonaux* pour le dépistage des maladies et la fabrication de vaccins contre de graves maladies infectieuses. Pourtant, aucune installation ne permet de tester ces vaccins au Canada. Notre pays ne s'est fait connaître que par ses recherches sur la transplantation d'embryons en vue d'améliorer la reproduction animale, bien que les recherches demeurent assez faibles dans leur ensemble[7]. Agriculture Canada ne parraine aucun projet important sur l'application de la biotechnologie à la transformation des aliments, même si le nouveau Centre de recherches sur les aliments de Saint-Hyacinthe pourrait répondre à ce besoin. Le rapport du CRAC concluait que le Canada s'était fourvoyé en affectant les fonds destinés à la biotechnologie à la fabrication d'alcool à partir de la biomasse ainsi qu'à la production de protéines unicellulaires pour l'alimentation animale, deux domaines peu susceptibles d'avoir beaucoup d'effet sur l'économie canadienne.

Le secteur privé et la recherche en biotechnologie

La rareté des travaux de R et D industrielle au Canada est un fait reconnu qu'ont bien illustré d'autres rapports du Conseil des sciences[8]. En agriculture, la situation est aggravée par le fait que la recherche agricole a toujours profité d'un appui public important et que les résultats expérimentaux étaient diffusés gratuitement. Par ailleurs, la plupart des espèces végétales nouvelles ou améliorées ne possèdent qu'un marché fragmentaire au Canada; les possibilités de gros bénéfices sont donc restreintes. Le blé bénéficie du marché le plus important, mais comme pour de nombreuses autres cultures, les sociétés semencières doivent réaliser leurs profits au moment de la vente initiale car, par la suite, les agriculteurs peuvent récolter eux-mêmes les semences.

Les sociétés semencières canadiennes font peu de recherche et leur participation à l'effort biotechnologique se résume au strict minimum[9]. Les 21 sociétés semencières qui ont mis sur pied des projets n'y consacrent que 96 années-personnes, et deux tiers des efforts déployés portent sur le maïs. Seulement deux sociétés semencières (deux grosses multinationales) recourent à la biotechnologie pour améliorer les cultures. Ces sociétés expliquent la faiblesse des recherches par le manque de fonds, le coût élevé

* Clones des mécanismes de défense naturelle de l'organisme contre certaines maladies, obtenus en laboratoire.

de la biotechnologie, la méconnaissance des nouvelles techniques et la dépendance à l'égard des filiales américaines pour l'obtention des résultats expérimentaux.

Si les petites sociétés semencières du Canada ne parviennent pas à emboîter le pas, il n'en va pas de même des grandes multinationales spécialisées dans les produits pharmaceutiques et chimiques. Ces dernières tentent d'identifier les retombées éventuelles de la biotechnologie sur l'agriculture et sur leur marge de profit dans l'espoir de s'approprier une partie du marché des semences[10]. Au Canada, Ciba-Geiby, Sandoz et Pfizer ont acheté des firmes semencières. Toutefois, il n'en est pas encore résulté d'intensification des travaux de R et D au Canada.

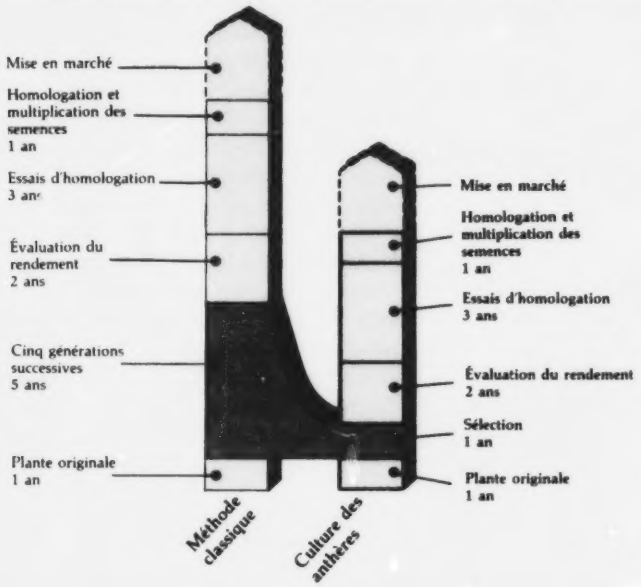
À Montréal, à Québec, à Toronto et à Vancouver, quelques petites entreprises horticoles exploitent avec succès la biotechnologie. Ces entreprises recourent aux techniques de micro-multiplication pour reproduire des espèces ornementales d'arbustes, de plantes et d'arbres fruitiers, et approvisionner un marché international. La firme Plant Products de Toronto en est un bon exemple. Cette société produit des milliers de plantes ornementales tropicales et subtropicales dans ses installations situées dans le sud de l'Ontario, et elle approvisionne la Californie ainsi que d'autres parties des États-Unis en violettes africaines et autres plantes d'intérieur. Les projets d'expansion de la société prévoient la production d'asperges et d'autres espèces d'importance économique. L'entreprise est parvenue à surmonter l'absence d'installations de R et D en surveillant les travaux accomplis dans les universités et en établissant de bonnes relations avec les chercheurs du département d'horticulture de l'université de Guelph.

Pourquoi investir dans la biotechnologie?

Une étude entreprise pour le Conseil[11] a permis de calculer les avantages éventuels que la biotechnologie pourrait apporter à l'amélioration végétale du colza. Le colza (ou canola) est l'un des principaux produits végétaux exportés et l'une des plus grandes sources d'huile comestible. Les chercheurs tentent de créer de nouvelles variétés de colza depuis les années 1950 dans l'espoir d'en accroître le rendement et d'en améliorer la qualité. Avec les techniques classiques de sélection végétale, il faut jusqu'à 12 ans pour mener une nouvelle variété au stade de la mise en marché, y compris cinq années d'hybridation et de sélection. La technique de la culture des anthères et celle des cultures cellulaires pourraient réduire à un an la période d'hybridation et de sélection (figure 6).

En 1983, on a consacré 2,5 millions $ à l'amélioration du colza au Canada. On estime que cet investissement a eu un rendement d'environ 51 pour cent. Si l'on recourait à la biotechnologie pour réduire la durée des travaux d'amélioration, on pourrait injecter 14,3 millions $ dans le projet (hausse de 600 pour cent) en maintenant le rendement de 51 pour cent.

Figure 6 : Durée relative des programmes d'amélioration végétale du colza



Source : A. Ulrich, H. Furtan et K. Downey, *Biotechnology and Rapeseed Breeding: Some Economic Considerations*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).

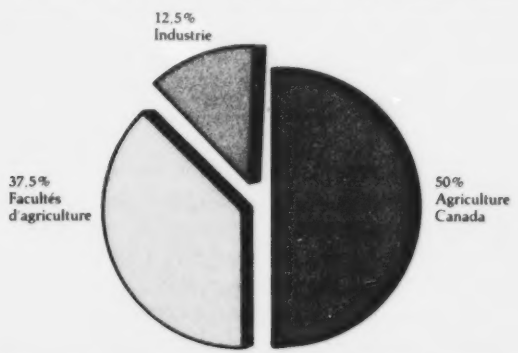
Le Canada n'a pas compris ce que la recherche pouvait apporter à l'agriculture[12]. On estime que les fonds affectés à la recherche traditionnelle en agriculture ont un rendement très élevé—entre 40 et 100 pour cent[13]. Toutefois, ce rendement pourrait être encore accru grâce à la recherche en biotechnologie. Néanmoins, on comprend mal les avantages globaux de cette science car ils se répartissent entre une vaste population qui comprend les agriculteurs, les sociétés d'approvisionnement agricole, les transformateurs, les détaillants et les consommateurs.

Accroissement du soutien offert par Agriculture Canada

L'intensification du soutien apporté à la recherche biotechnologique dans le secteur agricole canadien doit venir d'Agriculture Canada. Ce ministère est le seul organisme national qui s'est engagé de façon sensible dans la recherche sur la culture des tissus végétaux, la génétique des cellules somatiques, la biologie moléculaire, la fixation de l'azote et les méthodes traditionnelles d'amélioration végétale.

La plupart des travaux de R et D agricole (45 à 55 pour cent) sont financés par l'État, par l'entremise de l'administration centrale d'Agriculture Canada, située à Ottawa, et des 28 stations de recherche régionales disséminées dans le pays. Pour le reste, 35 à 40 pour cent des fonds viennent de sources fédérales et provinciales et sont destinés aux facultés d'agriculture des universités, alors que les derniers 10 à 15 pour cent émanent de l'industrie (figure 7)[14]. Pourtant, on note un recul dans la fraction du budget d'Agriculture Canada affectée à la recherche. Ainsi, au cours de la dernière décennie, le nombre de chercheurs et le personnel de soutien ont connu des coupures de 5 pour cent (figure 8). Devant cette situation, le Ministère a entrepris en 1983 une importante réaffectation de ses ressources et est parvenu à affecter 9,3 millions $ à la biotechnologie sous forme de subventions, de contributions et de budget d'exploitation. De plus, Agriculture Canada a reçu 3,1 millions $ (pour 1983-1985) dans le cadre de la Stratégie nationale en biotechnologie. Pour mettre l'accent davantage sur la biotechnologie, ce ministère a par ailleurs proposé qu'on fusionne l'Institut de recherches chimiques et biologiques et la Station de recherches d'Ottawa en vue de créer un institut de recherches en biotechnologie.

Figure 7 : Répartition des fonds investis dans la R et D agricole



Source : D.G. Hamilton, *Evaluation of Research and Development in Agriculture and Food in Canada* (Ottawa, Conseil de recherche agricole du Canada, 1980).

Les efforts déployés par le ministère en vue de réaffecter des ressources déjà maigres au nouveau domaine de la biotechnologie méritent d'être applaudis. Agriculture Canada a obtenu quelques fonds supplémentaires pour poursuivre ses travaux. Cependant, il n'a rendu public aucun document de travail sur ses objectifs et sa stratégie. La plupart des grands organismes qui s'intéressent à la biotechnologie comme le Conseil national de

Figure 8 : Agriculture Canada : années-personnes à la Direction générale de la recherche

Source : Agriculture Canada, *Budget des dépenses* (Ottawa, diverses années).

recherches, le ministère de l'Environnement et le ministère de l'Expansion industrielle régionale ont diffusé un document de ce genre pour dévoiler leur stratégie en matière de biotechnologie. Ces documents servent de guide pour l'attribution de ressources nationales restreintes et pour l'élaboration d'une stratégie nationale.

3. Agriculture Canada devrait dévoiler ses intérêts stratégiques et ses projets de recherche à long terme en ce qui concerne la biotechnologie et, par réaffectation, porter les fonds réservés aux projets dans ce domaine à 20 pour cent de son budget total de recherche.

Soutien à la recherche en phytoprotection et en hygiène vétérinaire

La biotechnologie offre une multitude de possibilités pour la lutte contre les maladies et les parasites chez les végétaux, qu'il s'agisse de contrôler la croissance et la prolifération des insectes ou d'améliorer la tolérance des plantes aux maladies et aux infestations. Pourtant, relativement peu de recherches en biotechnologie menées au Canada concernent la phytoprotection, et pratiquement tous les travaux portent sur le diagnostic[15]. Le Canada souffre gravement de l'absence d'un centre national de phytoprotection.

Le Canada manque également d'installations adéquates pour tester les produits vétérinaires. Les pertes annuelles de bétail attribuables à la maladie atteignent environ 1,2 milliard $ et l'importation de vaccins, dont on a sérieusement mis en doute l'efficacité,[16] coûte plus de 20 millions $ aux éleveurs. Il faudrait intensifier les recherches de façon à mettre au point d'autres méthodes pour lutter contre les maladies.

Un projet éphémère lancé en 1983 par le gouvernement devait déboucher sur la création de deux centres nationaux où l'on testerait les produits

de phytoprotection et d'hygiène vétérinaire sous les auspices d'Agriculture Canada en vue d'appuyer la recherche sur la protection des végétaux et la médecine vétérinaire. Malheureusement, le projet a été remis à plus tard en raison de restrictions budgétaires. La création de tels centres est essentielle à la survie de l'agriculture comme au développement de la biotechnologie.

4. Le Cabinet fédéral devrait établir des installations de testage des produits de phytoprotection et de médecine vétérinaire.

On devrait respecter les prévisions originales de 14 millions $ (valeur de 1983) relatives à la construction des deux centres. Le centre chargé de tester les produits vétérinaires devrait collaborer étroitement avec les instituts de recherche et les fabricants canadiens qui s'intéressent aux vaccins pour animaux.

Liaison entre les chercheurs des secteurs privé, public et universitaire

L'essor de la biotechnologie nécessite des relations plus étroites entre les chercheurs du secteur privé, des facultés de sciences et des écoles professionnelles. On pourrait resserrer ces liens en offrant un accès plus facile aux plus récents résultats expérimentaux et en donnant aux trois groupes la même possibilité d'utiliser les fonds octroyés à la recherche agricole.

Les sociétés, pour augmenter leurs travaux de R et D et se lancer dans l'exploitation commerciale des résultats expérimentaux, doivent connaître la gamme de données disponibles dans les établissements publics. La mise à jour annuelle de l'inventaire des projets de recherche en biotechnologie agricole du Conseil de recherche agricole du Canada, *Biotechnology: Research and Development for Canada's Agriculture and Food System*, permettrait de diffuser les résultats expérimentaux au secteur privé.

5. Agriculture Canada devrait accorder assez de ressources au Conseil de recherche agricole du Canada pour que celui-ci continue de mettre à jour sa revue et son répertoire des projets de recherche en biotechnologie.

Aussi dépendante du savoir-faire que la micro-électronique et la révolution de l'information, la biotechnologie ne progressera que grâce à la collaboration de tous les établissements de recherche concernés. Pour que la biotechnologie agricole avance, il est nécessaire d'élargir la population de chercheurs agricoles pour qu'elle englobe les chercheurs des départements de sciences et de génie qui ne font pas partie des facultés d'agriculture. Les fonds affectés à la recherche en biotechnologie agricole devraient donc être accessibles à tous les chercheurs qui possèdent une certaine exper-

tise en agriculture, peu importe l'établissement ou la faculté dont ils font partie.

Les universités canadiennes peuvent mobiliser un véritable arsenal de talents et possèdent une expertise considérable en biotechnologie agricole dans leurs départements de sciences et leurs écoles professionnelles. Les départements de sciences accomplissent sans doute autant de recherches à caractère agricole que les facultés d'agriculture proprement dites, et les travaux de biotechnologie agricole entrepris par les sociétés privées ne font qu'augmenter. Les quelques subventions de recherche font l'objet d'une vive concurrence et les chercheurs des facultés non professionnelles éprouvent de la difficulté à obtenir l'argent dont ils ont besoin pour entreprendre des travaux en biotechnologie agricole car les fonds ont tendance à être réservés aux facultés d'agriculture ou de médecine vétérinaire. En Ontario, par exemple, tous les fonds provinciaux destinés à la recherche agricole vont à l'université de Guelph, l'un des chefs de file dans ce domaine au Canada. Toutefois, les départements de sciences d'autres universités comme l'université de Toronto et l'université Queen's accomplissent également des travaux importants en biotechnologie agricole. Il serait normal qu'ils aient accès aux subventions destinées à la recherche agricole.

6. Agriculture Canada et les provinces qui financent la recherche biotechnologique en agriculture devraient accorder leurs subventions sans tenir compte de l'organisme ni de la discipline auxquels appartient la personne qui présente la demande.

La loi au secours de la biotechnologie

La protection des droits des obtenteurs

Au Canada, les nouvelles variétés végétales profitent à ceux qui les vendent et les multiplient, et non à leurs créateurs. La Loi sur la protection des droits des obtenteurs doit veiller à ce que les phytogénéticiens réalisent un juste bénéfice sur leurs nouveaux cultivars.

Dans la plupart des pays de l'hémisphère occidental, la Convention internationale sur la protection des nouvelles obtentions végétales protège les droits des phytogénéticiens. Toutes les grandes nations agricoles de cet hémisphère, sauf le Canada, ont ratifié la convention. Une loi en ce sens a été présentée au Parlement en 1980, mais le projet n'a jamais dépassé le stade de la première lecture, bien que les deux principales parties concernées l'aient soutenu et que la loi prévoie certaines restrictions aux droits des obtenteurs, dans l'intérêt du public.

Les partisans de la loi prétendent que la protection des obtentions végétales :

- encouragerait la recherche en phytogénétique dans les secteurs public et privé;

- augmenterait le nombre de variétés étrangères améliorées disponibles au Canada;
- faciliterait le paiement des redevances sur les cultivars canadiens vendus à l'étranger.

La protection des obtentions végétales modifierait le statut des variétés, qui, de biens publics, deviendraient des biens commerciaux. Il pourrait s'ensuivre une redistribution de la recherche entre le secteur privé et le secteur public, le second pouvant se consacrer davantage à la recherche fondamentale plutôt qu'à la création de nouvelles variétés. Par conséquent, les arguments en faveur de la protection des droits des obtenteurs s'appliquent à bien d'autres domaines que la biotechnologie. Toutefois, cette protection joue un rôle capital dans le développement de la biotechnologie et dans la transformation, par cette dernière, de l'agriculture en une industrie misant sur la recherche.

Plusieurs rapports mettent en doute la nécessité de protéger les obtentions végétales[17]. On a noté une certaine opposition à la promulgation de la loi, en particulier au sein des groupements agricoles. Toutefois, une enquête générale sur les retombées qu'une telle protection a eues dans d'autres pays occidentaux a révélé une grande satisfaction, souvent exprimée par un accroissement des travaux de R et D, ainsi qu'une hausse du nombre de variétés homologuées. Dans l'ensemble, les agriculteurs montraient eux-mêmes peu de mécontentement[18].

Le Canada souffre gravement du manque de travaux de R et D agricole dans le secteur privé. Pratiquement toutes les sociétés semencières considèrent l'absence de protection des obtentions végétales comme un obstacle à l'intensification des travaux[19]. Les conditions relatives à l'homologation obligatoire que renfermait le projet de loi de 1980 et le maintien d'un vaste effort de R et D dans le secteur public devraient empêcher les sociétés semencières d'exploiter les agriculteurs.

Afin d'accroître les travaux de R et D sur l'amélioration végétale entrepris par le secteur privé et surtout d'encourager les projets qui concernent la biotechnologie,

7. Agriculture Canada devrait présenter de nouveau au Parlement le projet de loi sur la protection des droits des obtenteurs.

Homologation de nouvelles variétés agricoles

Le marasme économique des années 1980 a durement frappé l'agriculture et a entraîné un nombre record de faillites agricoles. Ce problème pourrait être atténué par un changement dans la qualité des exportations de denrées qui permettrait aux producteurs canadiens de rester compétitifs sur le marché mondial. Une bonne partie de la recherche en biotechnologie devrait faciliter ce changement, mais le contexte juridique actuel est

trop rigide pour s'adapter facilement à l'évolution de la demande sur le marché.

L'homologation des variétés agricoles est un domaine où la législation doit changer. La recherche biotechnologique permet de créer de nouveaux types de cultures et de nouvelles variétés à partir des espèces classiques. Toutefois, les lois actuelles peuvent empêcher la commercialisation des produits expérimentaux lorsque les nouveaux cultivars ne respectent pas les exigences d'homologation. Pour que la biotechnologie accroisse la productivité et favorise le développement des industries de matières premières, il est nécessaire d'abattre les obstacles qui s'opposent à la création de nouvelles variétés agricoles.

8. Agriculture Canada devrait examiner le système actuel d'homologation des variétés afin d'en cerner les effets sur la création et l'introduction des nouvelles variétés, y compris celles qui dérivent de la biotechnologie, en vue d'encourager l'adoption rapide des nouvelles variétés agricoles.

Règlements sur l'homologation du blé

L'homologation des nouveaux cultivars de blé est un bon exemple de la manière dont les règlements existants empêchent le Canada de répondre à la demande du marché au moyen de variétés améliorées par la biotechnologie.

Le Canada jouit d'une réputation enviable sur le plan de l'exportation de blé de haute qualité. Toutefois, la culture des variétés de haute qualité s'accompagne d'une baisse de rendement d'au moins 5 pour cent[20]. Par ailleurs, le marché du blé de haute qualité (à haute teneur protéique) progresse très lentement alors que celui du blé de qualité inférieure (moins riche en protéines) connaît un essor très rapide. Pour permettre aux agriculteurs canadiens d'exploiter ce nouveau marché en pleine expansion, il est nécessaire de modifier les exigences en matière d'homologation et d'autoriser la culture des nouveaux types de blé, y compris ceux obtenus par le truchement de la biotechnologie.

Les règlements actuels ont empêché l'introduction de nouvelles variétés, par exemple celle du blé roux de printemps, qui donne de 10 à 15 pour cent plus de grain que les variétés classiques mais entraîne une réduction de 1 pour cent de la teneur protéique[21]. Ces variétés présentent un intérêt particulier pour les régions où l'on ne peut cultiver du blé de haute qualité[22]. La réduction de la teneur protéique (même si elle n'est que de 1 pour cent) interdit toutefois à ces variétés d'être classées dans la catégorie supérieure, tandis que l'aspect du grain, semblable à celui du blé de haute qualité, signifie qu'elles ne peuvent faire partie des catégories inférieures. Leur culture ne serait possible que si l'on créait une gamme plus étendue de catégories.

La modification des exigences de classement permettrait la culture des blés à rendement élevé et de haute qualité qui ne peuvent actuellement être classés ni dans la catégorie supérieure ni dans les catégories inférieures. Par la même occasion, on permettrait la production de blé de qualité inférieure, en particulier dans les régions des Prairies qui ne conviennent pas vraiment à la culture des variétés supérieures. Un nouveau cultivar de blé à haut rendement et à plus faible teneur protéique (44-320) a récemment été homologué, après une longue période d'attente. Il s'agit d'un pas important dans la bonne direction. Pour aligner la production sur les nouveaux besoins du marché et éliminer les obstacles artificiels à l'introduction de nouvelles variétés,

9. Agriculture Canada devrait étendre la gamme des cultivars de blé dont la culture est autorisée au Canada.

Transfert technologique et vulgarisation

Les contribuables canadiens soutiennent un réseau national de systèmes provinciaux, régionaux et locaux permettant le transfert de la technologie de pointe aux agriculteurs. Il est nécessaire d'améliorer l'efficacité et l'efficience de ce rêseau pour que le Canada saisisse les occasions offertes par la biotechnologie.

Au cours des dernières années, les services de vulgarisation agricole se sont caractérisés par un certain laisser-aller[23]. Au lieu de dispenser des conseils généraux, les agronomes provinciaux se contentent de plus en plus de diffuser des renseignements sur les programmes provinciaux et leurs avantages.

Le nombre de groupements et d'organisations qui dispensent de l'information aux agriculteurs a par ailleurs augmenté et le rôle de ces organismes est devenu plus complexe. L'agri-négoce, en particulier, s'intéresse au transfert de la technologie à certains types d'agriculteurs, et il est probable que cet intérêt continuera de croître. Dans quelques provinces, ces nouvelles relations ont consolidé des secteurs précis (par exemple l'élevage des porcs au Québec)[24]. Toutefois, les agriculteurs et d'autres personnes, qui voient dans le secteur public une source d'information objective, craignent de devoir se fier uniquement aux renseignements diffusés par les entreprises privées, que cela se fasse par contrat, par l'entremise de représentants des ventes ou au moyen de documentation, en l'absence d'un réseau public complémentaire adéquat[25].

Le réseau public recourt à des généralistes qui possèdent une longue formation ou expérience pratique en agriculture et entretiennent des rapports enviables avec les secteurs clés de la collectivité agricole. Ces conseillers manquent toutefois de formation conceptuelle et théorique en communications et en vulgarisation, et on note un manque de coordina-

tion et d'intégration entre les différentes associations qui s'occupent de vulgarisation. Ces problèmes peuvent nuire à la diffusion des produits et des procédés biotechnologiques aux agriculteurs.

On estime que le coût annuel du transfert technologique par les organismes fédéraux et provinciaux ainsi que par les universités atteint 125 millions $, soit près de 400 $ pour chaque agriculteur canadien, ce qui représente un investissement considérable. Le secteur privé pourrait y affecter une somme comparable. Face à un tel apport et au besoin d'assurer l'adoption rapide des techniques de pointe par les agriculteurs, il serait nécessaire de revoir et d'évaluer en entier le mécanisme actuel de transfert de la technologie. Les ministères fédéral et provinciaux de l'agriculture ont récemment amorcé une étude sur le transfert technologique dans le secteur public. En raison des retombées éventuelles de la biotechnologie sur l'agriculture et en prévision d'une participation accrue de l'entreprise privée au transfert technologique,

10. Les ministères provinciaux de l'agriculture et Agriculture Canada devraient, dans le cadre de leur étude sur le transfert technologique, proposer des mécanismes susceptibles d'accroître la coopération et la coordination au niveau du secteur privé.

La réglementation et les risques de la biotechnologie

Une réglementation saine est essentielle au développement commercial de la biotechnologie, non seulement pour apaiser les craintes du public à l'égard des nouvelles techniques, mais aussi pour encourager la participation des entreprises. De bons règlements peuvent ouvrir la voie au progrès, mais l'absence de directives claires peut entraîner la stagnation.

La controverse publique sur les retombées de la biotechnologie sur la société est négligeable au Canada, comparativement aux vives inquiétudes manifestées aux États-Unis. Plusieurs ministères fédéraux, en particulier Environnement Canada et le ministère d'État aux Sciences et à la Technologie, tentent actuellement de déterminer s'il faudrait mettre en place des règlements pour surveiller le transit de la biotechnologie entre le laboratoire et le monde commercial. L'Association canadienne du droit de l'environnement et la Commission de réforme du droit du Canada y participent aussi activement[26]. Le Conseil des sciences a déjà pris plusieurs initiatives afin d'influer sur les politiques et d'encourager la tenue d'un débat éclairé, par exemple en organisant un atelier sur le thème « Promesses et aléas de la biotechnologie au Canada » et en préparant plusieurs publications[27]. C'est pourquoi on ne s'est pas attaché, dans la présente étude, aux risques inhérents au développement de la biotechnologie, mais on a examiné les mécanismes en place susceptibles d'atténuer ces risques lorsqu'ils se présenteront.

Autrefois, les règlements n'étaient établis qu'après constatation des effets néfastes d'une nouvelle technologie. La biotechnologie se caractérise néanmoins par le fait qu'on a cherché à promulguer des lois avant de permettre son exploitation commerciale. Les règlements qui pourraient susciter des difficultés au niveau de l'exploitation industrielle de la biotechnologie dérivent des lois existantes sur les risques biologiques dans les recherches en laboratoire. Ces règlements portent sur trois secteurs principaux :

- la santé et la sécurité des personnes qui s'occupent directement du développement de la nouvelle technologie;
- les risques éventuels pour la santé et la sécurité de ceux qui utiliseront les produits dérivés de la biotechnologie;
- les dangers pour l'environnement.

L'incertitude qui entoure les éventuels effets écologiques de l'introduction de nouveaux organismes dans l'environnement est aggravée par un ensemble de règlements confus. Les règlements fédéraux, provinciaux et, dans certains cas, municipaux ou privés se chevauchent et les mécanismes de coopération abondent. Malgré cela, il existe de nombreuses lacunes en ce qui concerne nos connaissances sur les effets que la biotechnologie pourrait avoir sur la santé et l'environnement[28]. Il faut faire preuve de vigilance face aux éventuels effets néfastes de la biotechnologie, et on doit combler les lacunes de la législation, tant pour le bien des industries qui recourent à la biotechnologie que pour celui du grand public.

Homologation des antiparasitaires

Un important domaine de réglementation concerne l'emploi, comme antiparasitaires, de micro-organismes génétiquement modifiés. Certains produits de ce genre verront le jour au cours des quelques prochaines années, mais leur nombre sera vraisemblablement assez restreint et la plupart d'entre eux seront mis au point par des multinationales. Les demandes d'homologation au Canada seront sans doute précédées par des demandes similaires aux États-Unis. En prévision du petit nombre de détenteurs canadiens d'enregistrements, le Canada pourrait examiner les normes américaines et s'en servir pour établir ses propres exigences.

11. En collaboration avec Santé et Bien-être social Canada et Environnement Canada, Agriculture Canada devrait formuler des directives sur l'homologation des antiparasitaires qui n'existent pas dans la nature, y compris ceux qui proviennent de la modification génétique des micro-organismes.

Essais de semences en plein champ

Bien que la Loi relative aux semences précise que les semences génétiquement modifiées doivent être homologuées pour un usage agricole géné-

ral, ces semences peuvent être testées sans préavis ni étude préliminaire. Aucun organisme n'examine les semences génétiquement modifiées avant de les tester au champ, même si elles peuvent être libérées dans l'environnement. Agriculture Canada ne vérifie pas non plus les effets écologiques éventuels des nouvelles semences. L'examen des semences génétiquement modifiées constitue une part essentielle du mécanisme de réglementation de la biotechnologie.

12. En collaboration avec Santé et Bien-être social Canada et Environnement Canada, Agriculture Canada devrait élaborer des directives concernant l'essai sur le terrain des semences génétiquement modifiées qu'on destine à une utilisation commerciale.

Conclusion

La biotechnologie offre tout un arsenal de techniques qui permettraient de remédier à un grand nombre des problèmes auxquels fait face l'agriculture. Grâce à la biotechnologie, les chercheurs agricoles peuvent créer des plantes et des animaux susceptibles de tirer le maximum des facteurs de production bon marché, voire gratuits, y compris ceux présents dans la nature. Des interventions précises aboutissant à une modification du comportement des végétaux présentent d'autres possibilités. La biotechnologie, si elle parvient à s'implanter, pourrait diminuer les coûts de production agricole et atténuer les risques de pertes attribuables à divers problèmes comme la salinité, la sécheresse et le gel.

Le Canada a énormément misé sur le développement agricole, que ce soit en termes d'emplois, de revenu national, de balance de paiements, de revenu imposable ou d'investissements privés[29]. Environ la moitié des recettes agricoles proviennent de l'exportation. Dans l'ensemble, la production dépasse largement les besoins nationaux. Par conséquent, il est essentiel de maintenir les marchés existants. À long terme, l'agriculture canadienne ne peut se développer que par l'expansion du commerce international. Les possibilités sont nombreuses. En les réalisant, on parviendrait à revivifier le secteur agricole. Bien que la biotechnologie ne constitue pas un « remède miraculeux », appuyée par de bonnes politiques, elle pourrait offrir au Canada le soutien dont il a besoin pour maintenir sa position concurrentielle.

Chapitre 3

Pâtes et papiers : la biotechnologie sur la ligne de départ

On ne peut directement comparer l'industrie canadienne des pâtes et papiers à l'agriculture. La structure, la gestion et les problèmes de cette industrie sont uniques; des solutions différentes de celles applicables au secteur agricole sont donc nécessaires. Néanmoins, la biotechnologie peut sensiblement contribuer à la productivité de l'industrie, en particulier aider celle-ci à faire face à la diminution de la réserve de matières premières et à la hausse des coûts de production au Canada, de même qu'à l'évolution de la demande, à la forte concurrence et à l'autonomie croissante des autres pays.

Conserver un éventail étroit de produits à faible valeur ajoutée confirmerait la position du Canada comme un fournisseur de second plan sur les marchés mondiaux et laisserait notre pays à la merci des brusques changements cycliques de la demande comme ceux qu'on a connus au début des années 1980. Les concurrents du Canada sur le marché des pâtes et papiers ont réagi aux tendances du marché en se tournant vers la R et D pour réduire les coûts de production et se ménager des créneaux sur le marché des produits à haute valeur ajoutée. Ainsi, les États-Unis ont pris les devants sur le marché des tissus et l'Europe de l'Ouest, sur celui du papier d'impression de qualité supérieure[1]. Pour que l'industrie canadienne des pâtes et papiers profite de l'expansion prévue de la demande mondiale et accroisse ses bénéfices, il est essentiel d'améliorer les produits et les procédés existants et de procéder à une plus grande diversification. La biotechnologie offre d'excellents moyens pour y parvenir.

Les problèmes du secteur des pâtes et papiers

Diminution de la réserve de matières premières

Jusqu'à présent, l'économie de l'industrie forestière canadienne était dominée par l'énorme quantité de bois excédant la demande. Toutefois, depuis plusieurs décennies, les spécialistes nous rappellent que le taux d'approvisionnement naturel du bois a des limites et que l'importance apparente de cette ressource en dissimule la vulnérabilité de plus en plus grande face à la concurrence internationale. On a exploité les forêts canadiennes sans reboiser de façon adéquate. En outre, les arbres croissent beaucoup plus lentement au Canada que dans les pays plus chauds et les insectes infestent de nombreuses régions. Les forêts canadiennes de résineux pourraient

même devenir superflues à mesure que s'étendra l'usage des espèces à feuilles caduques, dont un grand nombre poussent mal au Canada. Les progrès technologiques ont retardé la manifestation des prévisions les plus sombres en permettant l'utilisation de grumes plus petites et d'espèces différentes ainsi qu'en ouvrant des coins reculés de l'exploitation. Néanmoins, les limites naturelles de l'exploitation forestière ne peuvent être repoussées indéfiniment. Les problèmes auxquels l'industrie doit faire face se multiplient et le désir d'utiliser la forêt à d'autres fins, par exemple pour les loisirs ou l'exploitation des bassins hydrographiques, va croissant. L'épuisement de cette ressource est devenu un problème urgent qui, à certains endroits, se fait sentir de façon aiguë[2].

Hausse des coûts de production

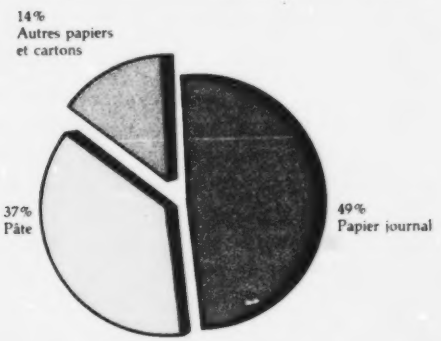
Autrefois, le prix relativement faible du bois constituait l'avantage comparatif de l'industrie forestière canadienne. Toutefois, il est impossible de conserver des prix aussi bas compte tenu de l'érosion des ressources et de la hausse du coût de la main-d'oeuvre et des investissements. D'autres facteurs contribuent également à accroître le prix du bois. Les peuplements accessibles sont souvent de piètre qualité et les arbres des forêts plus lointaines sont habituellement plus petits et moins gros. En outre, ils entraînent des coûts supérieurs d'abattage et de transport. Comme les arbres poussent plus lentement au Canada qu'aux États-Unis, il faut de plus grandes forêts pour maintenir le rendement, alors que les frais de construction et d'entretien des voies d'accès sont plus élevés. L'hiver long et rude réduit également la productivité et gonfle les coûts de production.

Depuis le début des années 1970, le coût des immobilisations nécessaires à la construction d'une papeterie a quintuplé[3], ce qui a réduit encore plus la possibilité d'exploiter les forêts distantes. Parallèlement, cependant, le coût élevé des investissements a freiné le développement de l'industrie forestière dans les pays tropicaux et offert au Canada une période de répit qui lui a permis de s'adapter aux nouvelles conditions du marché[4]. Il faut néanmoins admettre que l'époque où l'on disposait d'un excédent de bois bon marché et facile d'accès est révolue.

Évolution de la demande

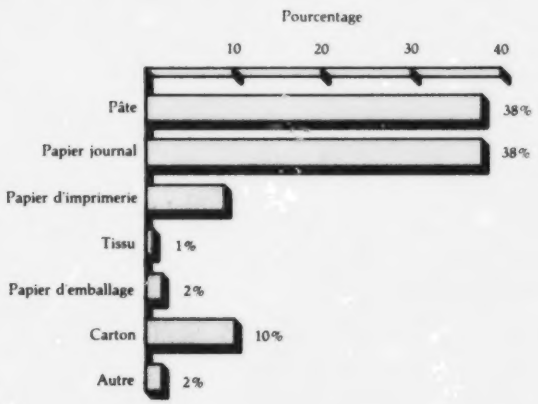
Outre la hausse des coûts de production, l'industrie canadienne des pâtes et du papier doit faire face à une évolution de la demande ainsi qu'à la concurrence accrue des fournisseurs étrangers. En 1983, le papier journal représentait 49 pour cent des exportations totales de l'industrie et la pâte, 37 pour cent (figure 9)[5]. Les autres types de papier et de carton (tissu, papier d'emballage, papier d'imprimerie, papier à lettre, cartons) sont principalement destinés au marché intérieur (figure 10). Le marché international des produits du bois comprend toutefois de plus en plus de produits de fin de ligne de valeur supérieure. Une haute qualité est la caractéris-

Figure 9 : Exportations canadiennes de pâtes et papiers en 1983



Source : Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *Tables de référence 1984* (Montréal, 1984), 9.

Figure 10 : Production canadienne de pâtes et papiers en 1983



Source : Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *Tables de référence 1984* (Montréal, 1984), 7.

tique de ces produits et, dans le monde industrialisé, la demande de papier de qualité supérieure est à la hausse comparativement à celle des autres produits comme le papier journal[6]. Même si l'industrie canadienne a prévu ces changements, elle n'y a pas fait face de façon efficace. Les papeteries n'ont pu s'adapter au passage du bois tendre au bois dur et, bien que les papiers spéciaux constituent un secteur de la production canadienne

qui connaît une croissance très rapide, les fabricants de papier journal n'ont pas répondu assez vite à la demande grandissante de papier de qualité supérieure comme celui utilisé pour les dépliants publicitaires.

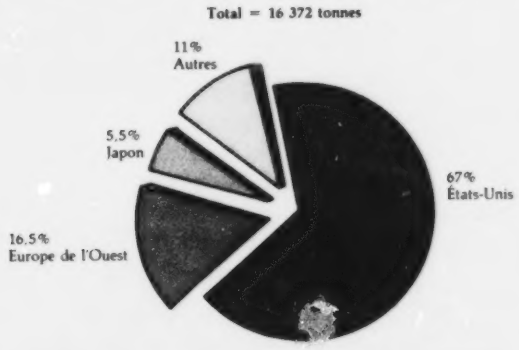
Concurrence étrangère sur les marchés d'exportation

Le Canada produit plus du cinquième des exportations mondiales de produits forestiers manufacturés. Deux tiers des produits exportés viennent de l'industrie du papier et des secteurs connexes, dont le nombre d'emplois directs dépasse 80 000. Les produits finis comprennent la pâte, le papier journal et un certain nombre de papiers spéciaux. Toutefois, le papier journal demeure le produit principal, le Canada en détenant le tiers de la production mondiale et plus de 60 pour cent du commerce international[7].

De nos jours, le secteur canadien des pâtes et papiers fait face à une intense concurrence de la part de divers pays comme la Suède, les États-Unis, l'Union soviétique et la Nouvelle-Zélande. Non seulement ces pays exercent-ils leur concurrence sur les résineux, clé de voûte de l'industrie canadienne, mais ils essaient également des espèces ligneuses et végétales jusqu'à présent inutilisées, d'autres matériaux que le bois et des produits à base de bois reconstitué.

Les deux tiers des exportations canadiennes de pâtes et papiers sont destinés aux États-Unis (figure 11). Toutefois, ce pays produit des pâtes

Figure 11 : Exportations canadiennes de pâtes et papiers par région en 1983



Source : Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *Tables de référence 1984* (Montréal, 1984), 8.

et papiers à un coût plus faible que n'importe quel autre pays du monde et est en mesure de satisfaire à la majeure partie de sa demande de papier journal. En 1970, les États-Unis ne pourvoyaient qu'à 35 pour cent de leurs besoins en papier journal. Deux ans plus tard, cette proportion était passée à 40 pour cent et, en 1990, elle devrait atteindre 60 pour cent[8]. Simul-

tanément, les pays scandinaves font concurrence au Canada sur le marché européen et sur les marchés en pleine expansion de l'Asie du sud et du centre, de l'Amérique latine et du Moyen-Orient, régions où le Canada n'est pas parvenu à maintenir sa part du marché.

Les barrières commerciales aggravent les problèmes du Canada[9]. En vertu de la New Zealand-Australia Free Trade Association, les pâtes et papiers de Nouvelle-Zélande ont remplacé le produit canadien exporté en Australie. L'adhésion du Royaume-Uni à la Communauté économique européenne a réduit l'accès des exportations canadiennes à cette partie de l'Europe au profit des fournisseurs scandinaves, qui ont maintenant la faveur des membres de la Communauté. En outre, il en est résulté une baisse du contingent de papier journal canadien destiné aux autres pays d'Europe. Aux États-Unis, le protectionnisme et d'autres obstacles commerciaux menacent l'exportation de pâtes et papiers canadiens.

Problèmes environnementaux

L'industrie des pâtes et papiers utilise l'eau en grande quantité à diverses fins, y compris pour l'élimination des déchets. Les papeteries ont toujours utilisé un énorme volume d'eau, que ce soit pour faire progresser les grumes dans l'établissement, produire de l'électricité ou transformer le bois en pâte et en papier. L'eau ne servait qu'une fois, d'où la grande perte de produits chimiques, de fibres et de chaleur. La situation persiste, mais le recyclage a sensiblement réduit le volume des eaux usées et celui des effluents à traiter.

Quoi qu'il en soit, le secteur continue d'être affligé par des problèmes d'élimination des déchets. Le volume et la nature de ces derniers varient selon le procédé utilisé. La majeure partie des déchets se trouvent sous forme de matières en suspension ou dissoutes, fibres de bois et pulpe comprises, ou sous forme de produits chimiques employés pour réduire le bois en pâte et fabriquer le papier. D'autres résidus comprennent les gaz et les vapeurs ainsi que des déchets solides comme l'écorce, le sable et la poussière. Le tout crée des problèmes environnementaux qui vont de la décoloration de l'eau des rivières et du dégagement d'odeurs nauséabondes à l'empoisonnement de l'eau et aux émissions de vapeurs dangereuses pour l'environnement. Ces problèmes suscitent une réaction hostile du public et causent de graves dommages à l'environnement. Cependant, on ne peut y remédier qu'à un coût élevé pour l'industrie et l'ensemble de la société.

La biotechnologie à la rescousse de l'industrie des pâtes et papiers

La biotechnologie n'est qu'un des nombreux moyens qui permettraient à l'industrie des pâtes et papiers de résoudre ses problèmes. Les possibilités d'application couvrent tous les secteurs de l'industrie, depuis l'approvisionnement du bois jusqu'au traitement des eaux usées en passant par la

préparation du bois, la réduction en pâte, la fabrication du papier et le recyclage de la cellulose[10]. Toutefois, on ne peut que faire des suppositions concernant le temps qu'il faudra à chaque nouvelle technique pour passer du laboratoire à la mise en application (voir tableau 4).

Amélioration des richesses naturelles

La biotechnologie peut servir à créer des essences ligneuses qui donneront des arbres plus droits et plus robustes, susceptibles de mieux résister aux maladies et de mieux se prêter à la fabrication de pâte[11]. Ces caractéristiques changeront les méthodes de fabrication des pâtes et papiers. En Nouvelle-Zélande[12], par exemple, les chercheurs ont créé une variété de pin de Monterey génétiquement supérieure. Son rendement plus élevé permet de diminuer la densité du peuplement par hectare, ce qui entraîne des économies au niveau de l'élagage tout en accroissant la quantité de bois de pulpe produit et en réduisant les coûts d'extraction.

La biotechnologie promet également de réduire le temps requis pour l'identification et la multiplication de certaines essences ligneuses. En effet, des techniques biologiques comme la culture tissulaire pourraient accélérer le clonage des variétés génétiquement supérieures créées par les techniques classiques d'amélioration végétale[13]. Le transfert de gènes précis pourrait en outre déboucher sur la création d'arbres présentant des propriétés particulières, par exemple une croissance rapide, de meilleures aptitudes pour la fabrication de pâte ou une résistance accrue aux maladies, au gel, à la sécheresse ou aux désherbants. Enfin, les nouvelles techniques pourraient étendre la gamme des antiparasitaires biologiques et sauver une partie du bois qui serait autrement détruit par les insectes.

Réduction des coûts de production

Les retombées directes de la biotechnologie sur la fabrication des pâtes et papiers comprennent le développement de procédés plus propres et énergétiquement plus efficaces. On pourrait également découvrir de nouveaux usages pour les espèces ligneuses qu'on estime ne pas convenir à la fabrication de pâte, ainsi que pour les déchets ligneux résultant de la récolte et de la transformation du bois.

L'importance de la biotechnologie dans le secteur des pâtes et papiers est bien illustrée dans la préparation (stockage) du bois avant sa réduction en pâte. Il s'agit d'un procédé biologique simple et bien établi qui atténue le problème du dépôt de la poix sur les machines à papier. Sans surveillance, la résine peut engluer les machines, arrêter la production et gâter le papier produit. Les dépôts visqueux ont un effet similaire, et ces substances peuvent être réduites grâce à certains procédés biotechnologiques.

La biotechnologie offre également des solutions de rechange aux fongicides couramment utilisés pour empêcher le bois de pourrir, lesquels, en plus d'être coûteux, contribuent à la pollution. Les techniques biolo-

Tableau 4: Quelques applications possibles de la biotechnologie dans l'industrie canadienne des pâtes et papiers

Secteur d'application	Possibilités à court terme (< 10 ans)	Possibilités à long terme (> 10 ans)
Sylviculture	Clonage de variétés ligneuses supérieures par culture tissulaire. Meilleure assimilation de l'azote grâce à des bactéries fixatrices, y compris des actinomycètes. Meilleure assimilation des éléments nutritifs et plus grande rusticité par sélection et exploitation des champignons à mycorrhize. Plus grande utilisation d'insecticides bactériens.	Sélection rapide en laboratoire de cultures cellulaires d'essences ligneuses présentant des caractères génétiques supérieurs comme la résistance aux maladies, au gel et à la sécheresse. Arbres aux propriétés dépassant les limites de l'espèce (teneur plus faible en lignine, longueur accrue des fibres et teneur plus élevée en térébenthine). Nouvelles « espèces » combinant les caractéristiques de plusieurs espèces courantes. Fixation symbiotique de l'azote chez les arbres n'ayant pas naturellement cette propriété. Amélioration génétique des champignons à mycorrhize et des bactéries fixatrices d'azote. Création de nouveaux insecticides microbiens.
Transformation		Procédés biologiques de fabrication de la pâte. Procédés biologiques de blanchiment. Amélioration biotechnologique de la fabrication mécanique de la pâte.
Autres utilisations du bois	Utilisation d'arbres de faible valeur et des résidus pour la culture des champignons. Fermentation des hydrolysats du bois.	Prétraitement biologique du bois en vue de la fermentation.
Sous-produits et déchets	Fermentation des hydrates de carbone présents dans les effluents. Amélioration des procédés actuels de traitement des eaux usées. Décoloration biologique des effluents de blanchiment.	Systèmes de traitement des eaux usées microbiologiquement adaptés aux besoins de l'industrie des pâtes et papiers. Conversion biologique des sous-produits à base de lignine.

giques utilisées pour séparer le bois de l'écorce diminueraient le coût des grumes en permettant à l'industrie d'utiliser l'arbre au complet, y compris les branches et les feuilles. Par ailleurs, les procédés biologiques de production de la pâte n'exigent aucun équipement dispendieux ni de grandes quantités de produits chimiques ou d'énergie. Ces procédés réduiraient la pollution car les déchets ne seraient plus constitués que de gaz carbonique et d'eau.

L'évaluation du rendement potentiel de ces diverses techniques pour la fabrication des pâtes et papiers varie. Une étude parrainée par le Conseil des sciences a identifié 17 possibilités d'application de procédés biologiques complexes revêtant un certain intérêt pour l'industrie canadienne[14]. Les cinq procédés les plus prometteurs concernent la préservation du bois, la réduction des dépôts visqueux, la production de glucose, la décoloration des effluents de blanchiment et la fermentation anaérobique des déchets liquides. On trouvera résumés au tableau 5 les résultats de l'analyse économique de ces différentes possibilités.

L'application intégrale des nouvelles technologies à l'industrie des pâtes et papiers demandera encore plusieurs années, et des progrès, des découvertes ou des échecs inattendus pourraient invalider les prévisions actuelles. L'adoption des nouveaux procédés biologiques sera fortement influencée par les capitaux disponibles et les résultats des essais. L'importance des lois concernant l'environnement pourrait également avoir un effet sur le recours aux nouvelles techniques. L'industrie des pâtes et papiers a dépensé 1,1 milliard $ entre 1960 et 1983 pour acquérir l'équipement nécessaire à la dépollution des eaux usées[15]. La biotechnologie pourrait diminuer ces coûts en remplaçant les techniques existantes par d'autres procédés plus valables sur le plan environnemental.

Alignement de la production sur la demande

La biotechnologie permet d'économiser de l'énergie et des matières premières et recourt à des procédés moins polluants. Elle peut également améliorer la qualité et la quantité du papier produit. Le traitement fongique de la pâte renforce le papier et diminue la pollution en réduisant la consommation d'eau jusqu'à 90 pour cent et en économisant de l'énergie et de l'espace. Les dépôts visqueux sur les machines peuvent causer des taches transparentes sur le papier et affaiblir ce dernier, qui peut se briser en cours de fabrication. Les méthodes actuelles pour résoudre ce problème sont dispendieuses et peuvent rendre les effluents toxiques; un moyen de lutte biologique serait la solution.

Pour que le Canada conserve sa part du marché

En 1983, les exportations de pâtes et papiers représentaient 8 milliards $, soit plus de 9 pour cent du total des exportations canadiennes[16]. Pour maintenir ou accroître ces importantes recettes et préserver la part du

Tableau 5: Possibilités d'application de quelques techniques biologiques dans le secteur canadien des pâtes et papiers

Domaine	Situation	Attentes raisonnables	Conditions nécessaires pour la réalisation des attentes
Préservation du bois pendant le stockage des copeaux à l'extérieur	Pertes : 32,6 millions $/année Blanchissant chimique supplémentaire : 15,8 millions $/année Coût total : 48,4 millions $/année	Économie nette potentielle : 28,4 millions $/année	Le fongicide biologique devra réduire 80 % des pertes de bois à raison de 1 kg par tonne métrique de bois séché au four. Le fongicide doit coûter moins de 0,52 $/kg.
Réduction des dépôts visqueux lors de la fabrication de la pâte et du papier	Coût des produits pour éliminer les dépôts visqueux : 3,5 millions $/année Le coût imputable à la baisse de production et à d'autres facteurs serait considérable.	Il existe déjà dans le commerce un procédé de traitement biologique. On pourrait accroître la production de papier à raison de 50 millions $ par année.	Varie pour chaque papeterie.
Extraction du glucose par hydrolyse enzymatique de la boue après sédimentation	Coût minimum pour l'élimination des boues : 3,4 millions $/année	Peu prometteur pour la production de glucose. Celle de protéines unicellulaires ou de champignons de couche pourrait être plus attrayante.	Une analyse plus poussée des possibilités commerciales est nécessaire.
Décoloration des effluents de blanchiment de la pulpe au stade E_1	L'industrie pourrait dépenser de 96 à 290 millions $ en investissements et de 13 à 39 millions $ par année en frais d'exploitation pour résoudre le problème de la coloration.	Pourrait être préférable aux autres solutions dans certains cas. Frais d'investissement et d'exploitation similaires aux procédés de décoloration extérieure.	Décoloration à 80-95 % pour toutes les usines de blanchiment mettant en œuvre le stade E_1.
Fermentation anaérobique des déchets liquides	L'industrie pourrait dépenser 16,5 millions $ de plus en investissements mais récupérer 9,9 millions $ par année en frais d'exploitation pour développer le traitement secondaire des eaux usées. Attrait similaire pour un nouveau traitement secondaire.	Possibilité d'économiser 1,6 million $ en investissement et 1 million $ par année en frais d'exploitation.	Il faut développer le traitement secondaire actuel. Les procédés biologiques complexes doivent réduire les frais d'investissement de 10 % et augmenter d'autant l'économie réalisée sur les frais d'exploitation.

Canada sur les marchés mondiaux en expansion, il est essentiel de trouver une solution à la pénurie croissante de bois d'abattage commercialisable. En accélérant l'amélioration des peuplements forestiers ou en créant des essences ligneuses supérieures, la biotechnologie peut jouer un rôle prépondérant dans l'économie nationale.

Réduction de la pollution par les papeteries

La majeure partie des applications actuelles de la biotechnologie dans le secteur des pâtes et papiers concernent le traitement des eaux usées. Environ 50 pour cent du bois qui pénètre dans l'usine quitte celle-ci sous forme de particules et de pâte contenues dans les effluents. Une grosse papeterie accumule chaque jour des centaines de tonnes de déchets souvent décolorés et toxiques. La biotechnologie pourrait faire de ce coûteux problème d'élimination une source intéressante de matières premières pour la fabrication de produits chimiques et de carburant liquide ou de protéines pour l'alimentation animale et humaine.

Les papeteries qui recourent à un procédé alcalin de fabrication de la pâte utilisent des installations qui ne sont que d'énormes fermenteurs où les micro-organismes purifient les eaux usées. Celles qui fabriquent la pâte par un procédé acide libèrent des effluents très riches en sucres fermentescibles. Ces sucres peuvent être transformés en éthanol, lequel, après distillation, donne l'alcool industriel. Un autre procédé convertit les sucres en protéines unicellulaires pour l'alimentation animale ou humaine. La biotechnologie apporte également de nouvelles méthodes de traitement des effluents toxiques en diminuant la quantité de résidus soufrés de manière à éliminer les émissions toxiques et nauséabondes des papeteries.

Stimuler la biotechnologie dans le secteur des pâtes et papiers

Sensibiliser le public

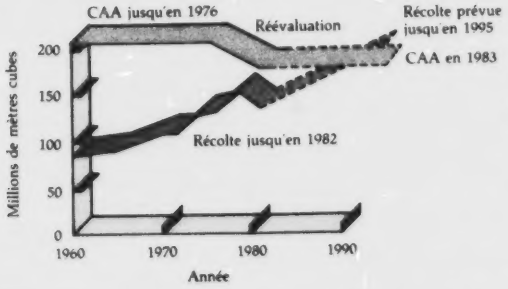
Les Canadiens doivent comprendre l'importance fondamentale de l'industrie forestière pour l'économie nationale. L'industrie pourrait accroître ses efforts pour s'assurer une meilleure place sur le marché en recourant davantage aux nouvelles technologies, mais cela exigerait un climat politique et social plus propice au virage technologique et à la participation aux recherches. La création récente d'un ministère d'État à la foresterie, comme le recommandait le Conseil des sciences[17], est un pas encourageant dans cette voie. Toutefois, l'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, le Service canadien des forêts et les ministères provinciaux des forêts partagent la responsabilité de sensibiliser les politiciens et le public aux avantages que les nouvelles technologies présentent pour le secteur des pâtes et papiers.

Établir les priorités de recherche

Le marché international des pâtes et papiers offre des possibilités d'expansion pour l'industrie canadienne. Toutefois, la capacité de cette dernière à maintenir sa position et à croître repose sur un approvisionnement permanent en bois de qualité convenable et à prix raisonnable. La diversification des produits et l'alignement de la production sur les besoins du marché aux plans de la qualité, du type et du prix du papier, constituent d'autres contraintes.

En guise de mesure initiale, il convient d'améliorer l'exploitation des forêts. Les projections actuelles montrent qu'on pourrait assister à un recul sensible de la quantité de bois tendre d'ici à 1995, mais le Canada continuera de profiter d'un excédent important de bois dur (figures 12 et 13)[18]. Il est essentiel de créer de nouveaux peuplements qu'on exploitera de façon plus intensive et de protéger les forêts existantes contre les insectes et les maladies. On doit élaborer des techniques de récolte plus efficaces et mettre au point des procédés qui permettront un emploi accru des feuillus pour la fabrication de pâtes et papiers.

Figure 12 : Tendances de la coupe annuelle autorisée (CAA) et de la récolte de bois tendre au Canada



Source : Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *Mémoire à la Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada* (Montréal, 1983), 52.

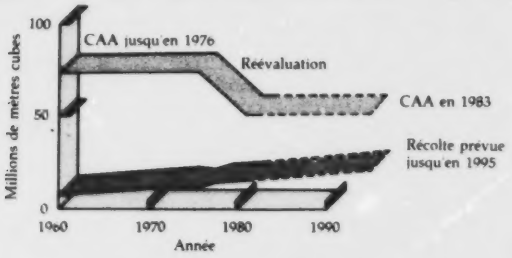
La biotechnologie pourrait réduire les pressions que subit le secteur des pâtes et papiers. Toutefois, pour que cette nouvelle technologie se développe, il est nécessaire de structurer les efforts en vue d'établir des priorités et des objectifs de recherche. L'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers et son service de recherche, l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (PAPRICAN), accomplissent pratiquement toute la R et D qui se fait dans cette industrie; aussi devraient-ils prendre les devants pour répondre aux besoins de l'industrie en R et D en prenant immédiatement la mesure suivante :

13. L'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers devrait mettre sur pied un programme de recherche et de développement de 10 ans en biotechnologie par l'entremise de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers, qui lui est associé.

Ce programme devrait viser des objectifs précis comme :

- l'amélioration du stockage des copeaux au moyen de fongicides biologiques;
- la réduction à 20 pour cent de la quantité de fibres contenue dans les eaux usées des papeteries;
- une hausse de la production de papier par la lutte biologique contre les dépôts visqueux.

Figure 13 : Tendances de la coupe annuelle autorisée et de la récolte de bois dur au Canada



Source : Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *Mémoire à la Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada* (Montréal, 1983), 52.

Nécessité d'intensifier la recherche

L'effort global de recherche accompli par l'industrie des pâtes et papiers en biotechnologie est relativement faible compte tenu de l'importance de ce secteur pour le Canada. En effet, moins de 30 petits groupes de chercheurs y participent[19]. Par ailleurs, ces groupes ne communiquent guère directement entre eux et n'entretiennent guère de relations avec l'industrie proprement dite, quand ils le font. Pratiquement tous les travaux sont axés sur la décoloration et la détoxification des eaux usées ainsi que sur la bioconversion des déchets en produits utiles comme l'éthanol et les protéines unicellulaires pour l'alimentation animale ou humaine. Un seul établissement canadien transforme le sucre des effluents en éthanol et un groupe mène des recherches sur l'utilisation des boues de papeterie après recyclage[20]. On néglige partiellement ou complètement plusieurs domaines très importants connexes à la biotechnologie, par exemple la préparation du bois, la réduction en pâte et la fabrication du papier.

Un facteur important qui agit sur le niveau de R et D biotechnologique au Canada est la structure particulière de l'industrie canadienne des pâtes et papiers. Dans ce secteur, la R et D est surtout accomplie à PAPRICAN grâce aux fonds versés par les sociétés. Les entreprises réalisent elles-mêmes assez peu de projets et plusieurs d'entre elles comptent largement sur le transfert de la technologie élaborée dans les laboratoires des sociétés mères situées à l'étranger[21]. La participation du gouvernement à la R et D s'est toujours limitée à la foresterie (la sylviculture et l'exploitation forestière) et a rarement touché le secteur des pâtes et papiers.

Par ailleurs, l'industrie canadienne des pâtes et papiers a toujours été assez lente à adopter les nouvelles techniques[22]. De plus, les co-entreprises canado-étrangères évitent d'entreprendre des recherches à risque élevé au Canada, et les tentatives visant à acquérir un avantage technologique en souffrent[23]. Les sociétés canadiennes préfèrent recourir aux chercheurs pour surveiller les progrès réalisés à l'étranger plutôt que pour entreprendre de véritables recherches. Cette situation est de plus en plus déplorable face à la progression des coûts de production et aux nouvelles exigences du marché. Il est nécessaire de se concentrer sur les innovations techniques où la biotechnologie, développée en fonction des conditions propres au Canada, jouerait un plus grand rôle. L'évolution de la structure de l'industrie, notamment la hausse du nombre d'entreprises appartenant à des Canadiens[24], laisse espérer qu'une telle chose est possible.

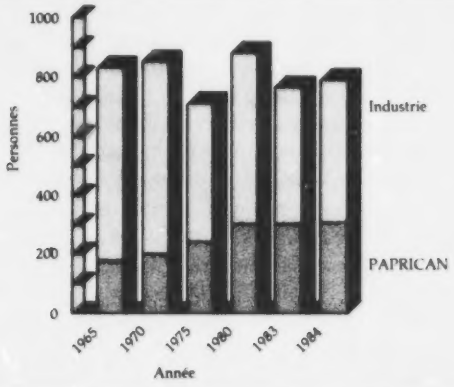
Deux établissements de recherche coopérative parrainés par l'industrie et le gouvernement fédéral ont pris une importance particulière pour la R et D biotechnologique. Il s'agit de Forintek Canada Corporation, à Ottawa et à Vancouver, et de PAPRICAN, à Montréal et à Vancouver. PAPRICAN bénéficie pratiquement de la moitié des fonds affectés à la R et D par l'industrie des pâtes et papiers, mais trois chercheurs seulement y accomplissent des travaux en biotechnologie. De plus, comme c'est le cas pour la plupart des projets entrepris par les sociétés, une grande partie des fonds va à la résolution des problèmes à court terme plutôt qu'à la recherche fondamentale. Un nombre de groupes d'intérêts variés, y compris les fabricants de machinerie, les gouvernements fédéral et provinciaux, les universités et les entreprises qui exploitent les produits du bois (souvent par l'entremise d'organismes de recherche affiliés) accomplissent également des travaux de R et D.

L'effort global de recherche reste néanmoins assez maigre par rapport à l'importance de l'industrie. Sur un chiffre d'affaires qui dépassait les 8 milliards $ en 1983, seulement 0,3 pour cent a été réinvesti dans la recherche[25], et environ la moitié de cette somme a été utilisée par PAPRICAN. En Suède, on consacre trois fois plus d'argent à la R et D (0,9 pour cent du chiffre d'affaires), dont les deux tiers au niveau des entreprises proprement dites. Compte tenu du faible intérêt que l'industrie cana-

dienne des pâtes et papiers porte à la R et D, on s'étonne moins du peu d'appui dont bénéficie la recherche en biotechnologie.

De plus, les effectifs de R et D ont diminué depuis 1965. C'est particulièrement le cas du rapport entre le volume de la recherche effectuée dans les laboratoires des sociétés et celui des travaux entrepris par les organismes de recherche affiliés (figure 14). À l'heure actuelle, les sociétés pourraient bien ne pas avoir assez de personnel qualifié pour adopter et adapter les résultats des recherches obtenus par les organismes de recherche affiliés.

Figure 14 : Effectif de R et D dans l'industrie des pâtes et papiers et à PAPRICAN entre 1965 et 1984



Source : Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers.

La variation annuelle des fonds affectés à la R et D par l'industrie correspond aux fluctuations des profits réalisés par les sociétés. Au cours des dernières années, une demande et des prix faibles ont accentué l'érosion des fonds consacrés à la recherche. Toutefois, ce qui au premier abord pourrait être considéré comme une baisse cyclique constitue en fait la perpétuation d'une tendance à long terme amorcée par la fermeture de quelques laboratoires par des filiales canadiennes de sociétés étrangères, lorsque les entreprises américaines ont commencé à centraliser leurs efforts de R et D[26]. Par conséquent, malgré l'importance de l'industrie des pâtes et papiers pour l'économie canadienne, les efforts canadiens de recherche suivent de fort loin ceux déployés par les pays concurrents. C'est une situation inacceptable. Une participation plus directe des gouvernements fédéral et provinciaux pourrait s'avérer nécessaire pour revivifier la R et D industrielle et moderniser les techniques employées par les sociétés canadiennes, mais, en fin de compte, cette responsabilité incombe à l'industrie elle-même.

Le moment est venu d'investir dans la biotechnologie, même s'il faudra attendre quelques années avant d'en retirer le maximum. En investissant maintenant, l'industrie pourrait maintenir sa position concurrentielle, voire acquérir un avantage technologique sur ses concurrents. La première étape consistera à s'engager nettement plus dans la R et D. À cette fin,

14. Le secteur canadien des pâtes et papiers devrait doubler son effort de R et D pour qu'il corresponde à 0,6 pour cent de son chiffre d'affaires d'ici à 1992, et porter à 5 pour cent la partie des fonds de recherche consacrés à la biotechnologie.

Encourager la coopération

Le réseau de recherche scientifique qui soutient l'industrie canadienne du bois est petit et fragmenté[27]. Les relations entre les groupes et organismes de recherche laissent beaucoup à désirer. L'amélioration de ces relations revêtira de plus en plus d'importance pour la vitalité de l'industrie à mesure que la biotechnologie, toujours au stade expérimental pour l'instant, jouera un plus grand rôle dans le développement du secteur.

PAPRICAN fait exception à la règle, car il a tissé des liens étroits avec l'université McGill et l'université de la Colombie-Britannique. Pour l'instant, PAPRICAN affecte 15 à 20 pour cent de son budget au financement de la recherche universitaire. Toutefois, la majeure partie des chercheurs des universités canadiennes ne s'intéressent guère au principal produit d'exportation du Canada, les pâtes et papiers. Ainsi, seulement une école de foresterie sur six accomplit des recherches directement reliées au secteur des pâtes et papiers. Un maximum de cinq universités effectuent des recherches similaires, habituellement dans le cadre du programme de génie chimique. Quelques autres groupes comme B.C. Research et la Fondation de recherches de l'Ontario s'y intéressent également, mais aucun ministère fédéral ou provincial des forêts n'effectue de recherches dans ce domaine[28]. Par ailleurs, aucune entreprise canadienne de pâtes et papiers ne participe activement au Programme des projets industrie/laboratoires (PPIL) du Conseil national de recherches, qui constitue pourtant le cadre idéal pour la consolidation des relations entre sociétés et universités sur ce plan.

D'autres pays, par exemple la Suède et les États-Unis, connaissent une coopération intrasectorielle beaucoup plus importante entre les groupes de R et D de l'industrie des pâtes et papiers, les fabricants de machinerie (une source fréquente d'idées nouvelles), les firmes d'ingénieurs-conseils et les universités. L'industrie canadienne devrait établir des liens similaires, même s'il faut pour cela recourir à un soutien accru des provinces par un dégrèvement fiscal supérieur à 100 pour cent. Face à l'importance de la recherche fondamentale pour le développement de la biotechnologie, une première mesure consisterait à stimuler la recherche en biotechnologie dans

les universités afin de répondre aux besoins de l'industrie des pâtes et papiers.

15. Les entreprises canadiennes de pâtes et papiers devraient financer la recherche contractuelle dans les universités canadiennes jusqu'à concurrence de 20 pour cent des fonds qu'elles affectent à la R et D.

Conclusion

La demande mondiale de pâtes et papiers devrait augmenter sensiblement au cours des prochaines années grâce à la réduction de l'analphabétisme, à la hausse du niveau de vie et à une utilisation croissante des ordinateurs. Bien qu'il se puisse que la demande progresse plus lentement qu'autrefois, le Canada aura l'occasion d'accroître ses ventes, de réaliser des profits plus importants et de créer de nouveaux emplois. Toutefois, le marasme économique a fait ressortir les lacunes fondamentales de l'industrie, qui devrait réévaluer son engagement à long terme dans la R et D.

L'industrie canadienne des pâtes et papiers ne peut espérer retrouver sa compétitivité passée en comptant sur une abondante réserve de bois bon marché et sur l'exportation massive de pâte et de papier journal. Les forêts canadiennes diminuent en superficie. Il n'existe plus d'excédent important de bois tendre bon marché et les feuillus, plus faciles à exploiter, requièrent l'adoption de nouveaux procédés de transformation. De graves problèmes environnementaux demeurent sans solution. Le marché international présente d'excellentes possibilités pour l'industrie canadienne des pâtes et papiers, mais l'expansion se fera au niveau des produits à haute valeur ajoutée comme le papier d'imprimerie de qualité supérieure, qui ne fait pas partie de l'éventail normal des produits canadiens.

Bien que la biotechnologie puisse répondre à un grand nombre des besoins de l'industrie des pâtes et papiers, cette dernière ne s'intéresse guère à la R et D dans ce domaine. Si l'industrie continue de compter sur les technologies étrangères, le Canada ne parviendra pas à consolider sa position sur les marchés mondiaux des produits à haute valeur ajoutée. Au cours des 5 à 10 prochaines années, la biotechnologie aura plus tendance à améliorer les procédés existants qu'à révolutionner les techniques de production ou à modifier radicalement les biens produits. Il n'est pas trop tard pour que le Canada se lance dans la course et se ménage un créneau dans le domaine de la recherche.

Les biotechnologies ne peuvent se développer de façon isolée; elles doivent être considérées comme un élément d'un ensemble technologique. La nature pluridisciplinaire de ces nouvelles technologies exige un effort sérieux de recherche fondamentale, ce qui n'est malheureusement pas le cas. Sans cela, le sort de l'industrie dépendra de l'évolution de la conjoncture internationale. Les biotechnologies constituent un moyen de parer

aux fluctuations que connaît l'industrie. Cependant, il faut pour cela définir les priorités en matière de recherche, s'engager davantage dans la R et D et améliorer les liens intrasectoriels.

Chapitre 4

La biotechnologie et les industries canadiennes de matières premières : les promesses

Les exemples de l'agriculture et des pâtes et papiers montrent que la biotechnologie pourrait accroître l'efficacité et la productivité de ces industries, très importantes pour l'économie nationale[1]. Bien que le Conseil des sciences n'ait pas examiné en détail la situation de la biotechnologie par rapport aux autres industries de matières premières, il est clair que les mines, la foresterie et l'agriculture[2] pourraient également tirer parti de cette technologie de pointe pour mettre au point de nouveaux produits et procédés de fabrication.

Les autres industries de matières premières ont des besoins particuliers, et sans doute que leur étude donnerait lieu à la formulation de recommandations précises susceptibles de favoriser le recours aux biotechnologies. Toutefois, les études de cas de l'agriculture et de l'industrie des pâtes et papiers indiquent certaines voies de développement générales dont pourraient bénéficier toutes les industries de matières premières. Le tout est de s'assurer que la recherche se poursuit à un rythme convenable et qu'aucun obstacle ne nuit à l'exploitation commerciale des résultats obtenus. L'adoption de ces deux principes exigera un engagement national ainsi que la coopération du gouvernement, de l'industrie et des universités. Un solide engagement à l'endroit de la recherche et des mécanismes bien articulés de transfert technologique permettront aux industries canadiennes de matières premières de faire appel aux biotechnologies pour accéder au marché des produits à haute valeur ajoutée et mettre au point des procédés de fabrication efficaces et peu coûteux.

La recherche en biotechnologie connaît les mêmes contraintes que la recherche scientifique en général (personnel, fonds, communication, et le reste), mais à celles-ci s'ajoutent des besoins précis découlant de sa nature pluridisciplinaire et de l'utilisation d'organismes vivants. Les recommandations du Conseil des sciences portent à la fois sur les besoins généraux de la communauté scientifique et sur ceux de la biotechnologie. En particulier, les recommandations concernant la recherche portent sur :

- la nécessité d'élaborer des objectifs de recherche précis pour la biotechnologie;
- le rôle capital des banques de souches pour la recherche en biotechnologie;

- le contrôle de la libération, dans l'environnement, des organismes génétiquement modifiés.

L'exploitation commerciale de la recherche, en particulier des résultats des travaux entrepris dans les universités, ne pose pas seulement un problème en biotechnologie mais aussi dans de nombreux autres domaines. Néanmoins, il vaut la peine d'examiner la question dans le contexte de la biotechnologie, car le transfert technologique joue un rôle capital pour la vitalité de ce domaine de pointe. Les recommandations du Conseil des sciences portent en particulier sur :

- la définition du rôle du ministère de l'Expansion industrielle régionale en ce qui concerne l'encouragement à exploiter commercialement la biotechnologie;
- l'utilisation du système de brevets pour diffuser l'information sur la biotechnologie et éviter le recoupement des efforts de recherche en ce domaine;
- le brevetage des résultats expérimentaux par les chercheurs des universités, quand la chose est possible;
- une participation accrue du secteur privé au programme de subventions thématiques du CRSNG.

Un engagement ferme dans la recherche

Orientation et concentration de la recherche

Une mission nationale requiert la définition soigneuse d'objectifs pour stimuler les biotechnologistes canadiens. Les objectifs de recherche biotechnologique en agriculture et en foresterie pourraient comprendre : a) la création de conifères génétiquement améliorés pour résister à la tordeuse du bourgeon de l'épinette d'ici à 1992 ou b) la création, d'ici à 1995, d'une luzerne donnant un peuplement productif, même après trois degrés de gel. De tels objectifs poseraient un défi intéressant pour les chercheurs et déboucheraient sur des technologies commercialisables.

Le rapport du groupe de travail sur la biotechnologie du ministère d'État aux Sciences et à la Technologie intitulé *La biotechnologie : un plan de développement pour le Canada*[3], reconnaissait les possibilités de la biotechnologie appliquée pour le secteur canadien des matières premières. Plusieurs projets provinciaux reflètent un intérêt similaire pour la biotechnologie et les richesses naturelles, mais on manque d'orientation globale et il n'existe pas d'objectifs à court terme. Là où des plans ont été élaborés, les engagements sont souvent à court terme.

Le Comité consultatif national sur la biotechnologie a été créé pour conseiller le ministre d'État aux Sciences et à la Technologie sur l'avenir de la biotechnologie. Ce comité, qui est le seul organisme central à s'intéresser exclusivement à la biotechnologie, devrait guider tous les ministères et organismes fédéraux qui effectuent des recherches dans ce domaine et

les amener à participer à la formulation d'objectifs nationaux dominant tous les autres.

16. Le Comité consultatif national sur la biotechnologie devrait établir des buts et des objectifs applicables au secteur des matières premières dans le cadre des programmes nationaux de biotechnologie.

Les objectifs de recherche pourraient être les suivants :

- pour l'industrie des pâtes et papiers : traitement des effluents et des eaux usées en vue d'en tirer des produits commercialisables;
- pour les productions végétales : accroître la tolérance au stress (résistance à la salinité, à la sécheresse et au gel) en vue d'améliorer la compétitivité de l'agriculture sur le plan des coûts de production.

La nécessité d'un personnel bien formé

L'absence de personnel bien formé et expérimenté pourrait être le principal obstacle à l'essor de la biotechnologie au Canada. Telle est la conclusion à laquelle est parvenue la Société canadienne des microbiologistes dans une étude entreprise conjointement avec le Conseil des sciences. L'existence de personnel qualifié doit être considérée comme une condition préalable à une élaboration efficace de programmes biotechnologiques à long terme et à l'identification des principales possibilités de recherche par le Canada.

Un personnel de talent est essentiel au dynamisme des industries canadiennes de matières premières. La pénurie de personnel qualifié dans certains domaines comme l'agriculture et la foresterie constitue une source générale d'inquiétude au Canada[4]. L'application de la biotechnologie à ces industries accentuera les pressions qui s'exercent sur les ressources humaines.

Un groupe de travail formé par le Conseil national de recherches en 1984[5] a évalué la demande totale d'étudiants de doctorat entre 600 et 800 pour les cinq prochaines années dans les disciplines reliées à la biotechnologie. Les universités, l'industrie et le gouvernement ont besoin de personnel formé dans plusieurs domaines comme la technologie des procédés et des systèmes, la génétique, la biologie moléculaire, la microbiologie, la biochimie, la biologie cellulaire et la chimie.

La biotechnologie ne se caractérise pas par l'utilisation intensive de main-d'oeuvre. Elle n'exige qu'un nombre relativement restreint de travailleurs hautement qualifiés. D'importantes pénuries peuvent se manifester provisoirement dans des secteurs très spécialisés comme le génie biochimique ou la biologie moléculaire. Les besoins de personnel dépendront du succès remporté par les programmes axés sur l'exploitation commerciale des nouvelles techniques. En prévision des besoins du secteur privé en scientifiques et techniciens hautement qualifiés, le CRSNG a créé

un programme de subventions de recherche industrielle[6] dont le but principal est de venir en aide aux étudiants qui viennent de terminer leur doctorat et cherchent pour la première fois un emploi dans l'industrie au Canada. Ce programme couvre la biotechnologie et complète celui des bourses de recherche universitaire. Tous deux devraient permettre la mise en place et le maintien d'une réserve de spécialistes en prévision du développement à long terme de la biotechnologie au Canada.

Les scientifiques chevronnés qui travaillent déjà au Canada constituent une importante richesse naturelle. Beaucoup d'entre eux travaillent pour le gouvernement fédéral. Pour maintenir leur expertise et garder pied dans un domaine à l'évolution aussi rapide que la biotechnologie, ces scientifiques doivent recourir aux colloques et aux réunions peut-être plus qu'à n'importe quel autre moyen de communication. Leur participation aux rencontres scientifiques est également une bonne façon d'encourager la communication entre les chercheurs fédéraux et leurs homologues des universités et du secteur privé.

Un rapport publié en 1982 indiquait que les chercheurs fédéraux jugent la politique actuelle du gouvernement capricieuse et estiment que l'application des règlements complique leur participation aux rencontres scientifiques[7]. Ainsi, les demandes doivent être présentées jusqu'à un an à l'avance et les chercheurs peuvent se voir opposer une fin de non-recevoir même s'ils sont prêts à payer leurs dépenses et frais de déplacement. Ces difficultés persistent et un grand nombre de scientifiques ne parviennent à rester en communication avec leurs homologues qu'en utilisant leurs vacances et leur argent pour assister aux conférences.

Depuis 1982, les efforts pour réduire les dépenses publiques ont mené à l'élaboration de nouvelles directives du Conseil du Trésor, qui ont réduit la participation des scientifiques fédéraux aux conférences à une personne par conférence et par ministère, en moyenne. On a récemment adouci ces directives, qui ont toujours été sujettes aux objectifs précis poursuivis par les ministères. L'interprétation rigide des directives par certains ministères entre en contradiction avec les efforts déployés par le gouvernement pour faire d'une meilleure communication un élément essentiel de la stratégie nationale en matière de biotechnologie. Les administrateurs des ministères et des organismes de premier plan comme Agriculture Canada, Pêches et Océans et le Conseil national de recherches doivent admettre que les scientifiques fédéraux doivent sortir de leur isolement et adopter des politiques beaucoup plus souples concernant la participation des chercheurs aux réunions scientifiques.

Les banques de cultures cellulaires

La communauté scientifique n'est pas parvenue à obtenir des fonds suffisants pour maintenir et répertorier toutes les banques de cultures cellulaires. Or, ces banques sont un préalable à la recherche en biotechnologie.

Les biotechnologistes doivent avoir accès à une vaste gamme de micro-organismes et à différents types de cellules au cours de leurs recherches afin de choisir la souche qui répondra le mieux à leurs besoins. Les chances de trouver la culture idéale au Canada sont minces. En effet, seulement une ou deux banques sont administrées par un conservateur à plein temps. La plupart des banques sont gérées par des scientifiques et des techniciens affairés qui les utilisent à leurs propres fins expérimentales. Par conséquent, un grand nombre d'entre elles sont mal conservées et on déplore la perte de nombreuses souches chaque année.

Les banques canadiennes présentent des lacunes à tous les niveaux (accès, authentification, conservation, documentation et distribution des souches) pour un système permanent qui se respecte[8]. Les chercheurs canadiens doivent avoir accès à des banques nationales et internationales de cellules[9]. L'intégration et l'amélioration des banques privées s'imposent depuis longtemps.

17. Le ministre d'État aux Sciences et à la Technologie devrait mettre sur pied un programme national sur le développement à long terme de collections de cultures.

Une réglementation s'impose

La biotechnologie a des besoins très précis en matière de réglementation. Les règlements devraient faciliter l'identification des répercussions économiques et sociales des technologies de pointe sur la société.

L'examen des risques reliés à la biotechnologie déborde le cadre de la présente étude. Toutefois, quand on les interroge sur la pertinence des mécanismes actuels destinés à réduire ces risques, la plupart des autorités fédérales et provinciales admettent que la législation actuelle pourrait, à condition d'être adaptée, répondre à la plupart des besoins propres à la nouvelle technologie. Ainsi, un certain nombre de lois et de règlements traitent, à différents paliers du gouvernement, des risques que pourrait entraîner l'exploitation commerciale de la biotechnologie.

Malgré cela, aucune loi fédérale et peu de règlements portent précisément sur les micro-organismes génétiquement modifiés. De telles directives pourraient apaiser les craintes du public à l'égard des nouvelles techniques et créer un milieu propice à leur exploitation commerciale. Un groupe de travail, présidé conjointement par Santé et Bien-être social Canada et Environnement Canada, a commencé l'examen des questions de sécurité et de réglementation en biotechnologie. Pour l'instant, changer la législation serait prématuré. Toutefois, dans le contexte d'une stratégie à long terme,

18. Le Groupe de travail sur la sécurité et la réglementation de la biotechnologie devrait surveiller la recherche en génie génétique et les

activités connexes afin d'élaborer des directives et des normes applicables à la libération, dans l'environnement, de produits génétiquement modifiés.

Vers un meilleur transfert technologique

Financer l'exploitation commerciale de la biotechnologie

Pour être efficace, l'exploitation commerciale des résultats des recherches requiert à la fois un intense courant d'idées et des fonds adéquats. L'absence de capitaux peut freiner le développement de cette technologie, voire le stopper. À l'heure actuelle, le système canadien de capital-risque n'est pas particulièrement propice à la création de nouvelles entreprises, notamment en biotechnologie.

Le Canada possède un système de financement à double palier pour le capital-risque[10]. Au premier palier, on trouve les fonds qui permettent à une entreprise de démarrer. Le second est destiné aux jeunes sociétés qui ont dépassé le stade de l'investissement initial pour entrer dans une phase d'expansion. Il semble que le Canada a suffisamment de fonds du deuxième palier mais trop peu de bonnes idées à exploiter, alors que l'inverse se retrouve au premier palier de financement[11]. Certaines provinces ont récemment pris des mesures pour donner à l'innovateur les moyens de réunir les capitaux initiaux dont il a besoin. Ainsi, le gouvernement de la Colombie-Britannique a créé la Discovery Foundation; celui de l'Ontario, la IDEA Corporation et celui de l'Alberta, Vencap Equities Ltd.

Bien que le climat du capital-risque se soit amélioré au Canada, les sociétés éprouvent toujours de grandes difficultés à recueillir des fonds au tout début, surtout en biotechnologie. Contrairement à la situation qui existe aux États-Unis et dans certaines parties de l'Europe, les capitalistes à risque canadiens manifestent généralement une certaine réticence à confier leur argent à des entreprises qui en sont au stade du développement initial. Au Canada, la majorité de l'argent continue de venir d'investisseurs privés[12]. Il s'ensuit une pénurie grave de fonds pour les entreprises qui cherchent à démarrer.

Les régimes de pension seraient une source de capital-risque susceptible d'aider les entreprises qui démarrent dans les secteurs de pointe comme la biotechnologie. Une étude parrainée par le Conseil des sciences a révélé comment on est parvenu à utiliser ces régimes comme source de capital-risque aux États-Unis, en particulier pour les petites et moyennes entreprises[13]. Les administrateurs de régimes de pension devraient être encouragés à examiner les possibilités qui existent à ce niveau.

Il faudrait également étudier les avantages fiscaux du capital-risque pour accroître les fonds que les nouvelles entreprises pourraient utiliser pour s'établir. À l'exception des 45 millions $ investis par la Corporation

de développement du Canada pour la création d'Allelix, les sociétés canadiennes de biotechnologie ne disposent que d'un capital-risque de 10 millions $. Une somme équivalente en devises canadiennes a été injectée aux États-Unis, où les avantages fiscaux sont plus intéressants. À moins que le Canada ne prenne des mesures pour amener les capitalistes à risque à renverser cette tendance, on continuera de connaître une pénurie de fonds pour soutenir les sociétés à risque élevé qui démarrent et qui pourraient éventuellement devenir une source de produits nouveaux, d'exportations et d'emplois.

Dans son rapport numéro 37 intitulé *Le développement industriel au Canada—Quelques propositions d'action*, le Conseil des sciences examinait les problèmes relatifs au financement des nouvelles entreprises et formulait plusieurs recommandations en vue de faciliter l'expansion des sociétés de haute technologie[14]. Ces recommandations s'appliquent directement aux petites entreprises canadiennes de biotechnologie. Si l'État désire faciliter la mise sur pied de ces entreprises, il doit repenser ses efforts de manière à fournir les fonds de départ, et donner la priorité aux problèmes de financement qui précèdent l'injection de capital-risque proprement dit.

Clarifier les responsabilités de l'État dans l'exploitation commerciale de la biotechnologie

Le ministère de l'Expansion industrielle régionale (MEIR) a pour responsabilité particulière de promouvoir et de faciliter les activités de l'industrie. Toutefois, il a mis beaucoup de temps à élaborer une stratégie pour soutenir la biotechnologie industrielle. Dans un récent document de travail, le Ministère esquissait ce qu'il compte faire dans ce domaine, soit :

- prendre résolument les devants, avec les ministères à vocation scientifique ou autres, en ce qui concerne l'exploitation commerciale de la biotechnologie;
- explorer la possibilité de créer une association de biotechnologie dans le secteur privé;
- poursuivre ses efforts en vue de conclure avec les provinces des ententes de développement économique régional en biotechnologie;
- conclure des accords avec les grandes sociétés canadiennes, les autorités municipales, les provinces et d'autres ministères du gouvernement pour encourager la coopération entre les secteurs public et privé.

La réussite de telles initiatives exige que le MEIR prenne ses responsabilités comme organisme directeur pour le développement industriel de la biotechnologie. Pour cela, le MEIR doit resserrer ses liens avec les ministères et les organismes fédéraux à vocation scientifique qui s'intéressent à la biotechnologie et consolider ses efforts de communication avec les ministères fédéraux, l'industrie et les universités. Malheureusement, la structure actuelle du MEIR nuit à une application efficace de ses propres

projets en biotechnologie. En effet, le Ministère est organisé par secteurs industriels et la biotechnologie recouvre un grand nombre de secteurs. Le MEIR n'a pas de source unique d'information à laquelle une société pourrait puiser pour obtenir de l'aide en vue d'exploiter les produits de la biotechnologie.

19. Le ministère de l'Expansion industrielle régionale devrait coordonner sa stratégie afin de soutenir la biotechnologie industrielle.

La biotechnologie est une activité à risque élevé, en particulier aux stades de l'innovation et de la mise en marché. Les investissements ne rapportent qu'à long terme et les coûts de développement sont énormes. Il est capital que le MEIR reconnaisse ces particularités et mette en oeuvre des programmes de soutien assez souples pour s'y adapter.

Le MEIR a la tâche de promouvoir à la fois le développement industriel et le développement régional, ce qui est parfois incompatible. Pour parvenir à la meilleure exploitation possible de la biotechnologie, le MEIR devrait assouplir son principal instrument de financement, le Programme de développement régional et industriel (PDRI), en abandonnant le système de financement rigide par zones géographiques conçu pour favoriser le développement commercial de régions précises. Il est probable que les nouvelles entreprises de biotechnologie verront le jour dans les grands centres comme Vancouver et Montréal, qui possèdent déjà l'infrastructure appropriée et une réserve suffisante de personnel qualifié. Les contraintes de ce mode de financement devraient être éliminées pour assurer le meilleur soutien financier possible aux projets biotechnologiques. Pour cela,

20. Le ministère de l'Expansion industrielle régionale devrait affecter 10 millions $ par année au financement des applications commerciales de la biotechnologie dans les entreprises canadiennes grâce à une réaffectation des fonds du Programme de développement régional et industriel.

Stimuler l'exploitation commerciale de la biotechnologie grâce au système canadien de brevets

Le système canadien de brevets est une source d'information technique qui pourrait stimuler la recherche en biotechnologie. Bien que le rôle principal des brevets soit de protéger la propriété intellectuelle de l'inventeur, un système bien conçu permettrait parallèlement une diffusion rapide des idées neuves et empêcherait l'éparpillement des fonds consacrés à la résolution de problèmes qui ont déjà été réglés de façon satisfaisante ailleurs. La pénurie de chercheurs et de fonds affectés à la recherche au Canada rend le dédoublement des recherches particulièrement déplorable. Pourtant, cela se produit. Même s'il est impossible d'évaluer les ressources ainsi gaspillées, le cas de la VIDO (Veterinary Infectious Disease Organization)

est significatif. Après avoir investi un million $ dans la recherche sur un vaccin destiné à protéger les veaux contre les diarrhées à virus des nouveaux-nés, cet organisme a découvert que des brevets l'empêchaient de commercialiser les résultats de ses propres recherches[15].

Les brevets constituent une source importante de renseignements techniques qu'il est souvent impossible d'obtenir ailleurs[16]. Le Bureau canadien des brevets est une banque d'information qui couvre toute la gamme des technologies et offre des possibilités énormes pour le transfert technologique. Afin d'exploiter ces possibilités, le bureau des brevets a récemment lancé un programme destiné à encourager l'emploi des techniques brevetées par les entreprises, les sociétés de recherche et les organismes publics canadiens[17]. Même si l'intention originale était de donner une portée nationale au programme, son efficacité est gravement compromise du fait que les données sur les brevets n'ont pas été complètement informatisées, ce qui rend leur accès incommode et peu rapide.

La Loi sur les brevets exige une description technique complète de chaque invention. Toutefois, elle ne comporte aucune mesure efficace pour diffuser ces renseignements[18]. L'article 27 de la Loi autorise le commissaire des brevets à diffuser l'information à sa discrétion, sans toutefois l'y obliger. La diffusion efficace de l'information contenue dans les brevets entraînerait un meilleur usage des rares ressources de R et D et accélérerait le transfert technologique. Un bulletin sur la R et D que mettrait sur pied et distribuerait le secteur privé serait un bon moyen de transmettre l'information. Ce projet nécessiterait un certain apport financier initial de la part du gouvernement, ainsi qu'un système de brevets entièrement automatisé. Bien que le Bureau des brevets ait des plans d'automatisation à long terme, leur réalisation exigera des fonds supplémentaires. Le Canada a un besoin urgent d'un système de brevetage moderne.

21. Le ministère de la Consommation et des Corporations devrait accélérer l'automatisation du système d'examen des brevets et passer des contrats avec le secteur privé en vue de diffuser l'information contenue dans les brevets.

Il faudrait aussi examiner le problème du brevetage des organismes vivants. Les droits sur la propriété intellectuelle jouent un rôle déterminant dans la rapidité et l'orientation du développement commercial de la biotechnologie, car très peu de sociétés se lanceront dans un programme de R et D coûteux sans l'assurance que le résultat de ces recherches peut être breveté. Quoique des progrès technologiques aient déjà été incorporés aux brevets existants, l'expérience acquise pourrait ne pas trouver d'application en biotechnologie, où il existe une forte dépendance à l'égard des nouvelles formes de vie.

Le droit de propriété sur une forme de vie a été reconnu pour la première fois au Canada quand le commissaire des brevets a accordé à la société Abitibi-Price un brevet sur un organisme vivant (1982). Toutefois, le brevet ayant été accordé par le responsable de l'examen des demandes et non par un tribunal, cette décision pourrait être portée en appel. Si l'on accepte le principe du brevetage d'une forme de vie, le statut juridique de ce genre de brevet n'en reste pas moins litigieux et ne satisfait pas les sociétés qui désirent exploiter les fruits de la R et D en biotechnologie. Maintenir un tel climat d'incertitude pourrait nuire à la commercialisation de la nouvelle technologie.

Le brevetage des formes de vie est une question épineuse et fait l'objet d'une controverse internationale. Le Canada participe activement au débat sur l'élaboration d'une politique cohérente en ce qui concerne le brevetage des formes de vie utiles[19]. Toutefois, les aspects juridiques devront être éclaircis avant que les entreprises ne puissent aller de l'avant en toute confiance.

Breveter les résultats des recherches universitaires

Encourager les chercheurs universitaires à obtenir des brevets pourrait également favoriser l'essor commercial de la biotechnologie au Canada.

Peu de Canadiens demandent des brevets. Sur la totalité des brevets émis au cours des 10 dernières années, 6 pour cent seulement ont été accordés à des Canadiens[20]. Dans une certaine mesure, cette proportion s'explique par le nombre restreint de recherches et de projets de développement mis en oeuvre au Canada, mais elle montre également que les universitaires regardent de haut l'exploitation commerciale de leurs efforts et qu'ils préfèrent transmettre gratuitement leurs connaissances au reste du monde, mêmes si elles sont habituellement issues de recherches financées par le trésor public. Ne pas obtenir de brevet au Canada peut se traduire par le développement d'un nouveau produit à l'étranger sans que le Canada en profite. Toute louable que puisse être une telle abnégation, en ne protégeant pas suffisamment la propriété intellectuelle, les Canadiens laissent aux étrangers des revenus et des emplois qui leur reviennent.

L'intérêt porté à la biotechnologie augmente rapidement alors même qu'on assiste à une érosion des crédits publics de recherche. Les universitaires canadiens sont donc menacés d'exploitation par les sociétés qui offrent de faibles sommes d'argent en échange de la totalité des résultats d'un projet expérimental. Beaucoup d'entre eux ignorent qu'il est possible de breveter les formes de vie. En outre, même s'ils sont conscients de cette possibilité, les chercheurs sont souvent mal conseillés. Dans la plupart des cas, les universités canadiennes n'ont pas reconnu l'importance des brevets comme source de financement supplémentaire. Les scientifiques recourent rarement aux services de conseillers en brevets mêmes s'ils sont disponibles à l'université. Le manque de fonds interdit habituellement l'accès à de bons

experts-conseils privés (dont les services sont toujours coûteux). Le Bureau canadien des brevets ne peut répondre à ce besoin car il manque d'expertise, de personnel et de fonds pour le faire.

Un récent rapport du gouvernement québécois sur la propriété intellectuelle et la biotechnologie résumait les problèmes auxquels fait face la communauté intellectuelle du Canada[21]. Il en ressortait deux recommandations : a) les universités doivent clarifier leur politique concernant les inventions et les brevets par rapport à la recherche financée par l'industrie, et b) les comités de subvention doivent accorder plus de valeur aux inventions brevetées dans l'examen des projets de recherche. Il est essentiel que les universités canadiennes mettent à jour leurs directives sur la propriété intellectuelle face aux puissantes forces commerciales qui animent la biotechnologie. Les trois organismes subventionnaires canadiens devraient prendre l'initiative en proposant des directives sur l'exploitation commerciale des recherches financées grâce aux fonds publics.

22. En consultation avec la communauté universitaire, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, le Conseil de recherches médicales et le Conseil de recherches en sciences humaines devraient élaborer des directives susceptibles d'aider les chercheurs des universités à faire valoir leurs droits en matière de propriété intellectuelle.

Amener l'industrie à participer à l'essor de la biotechnologie

L'avancement de la biotechnologie dépend de la participation et de l'interaction des universités, du gouvernement et de l'industrie. Il serait possible d'améliorer la coopération des trois secteurs en encourageant les représentants de l'industrie à siéger aux comités de subvention ainsi qu'en communiquant au secteur privé les rapports du gouvernement sur les recherches en biotechnologie.

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) accorde des subventions thématiques pour soutenir des projets ou des programmes dans des domaines d'intérêt national, notamment la biotechnologie. Le programme de subventions thématiques vise à appuyer la recherche fondamentale sur des sujets précis, compte tenu des antécédents de celui qui présente la demande et de la valeur du projet présenté.

Pour illustrer la valeur commerciale des projets qui font l'objet d'une demande de subvention thématique, le postulant doit (1) identifier qui, dans l'industrie ou au gouvernement, pourrait profiter des résultats expérimentaux; (2) décrire les contacts établis avec les usagers potentiels; (3) indiquer l'importance et les conséquences éventuelles des résultats pour le domaine auquel se rapporte la recherche; et (4) dévoiler les plans en vertu desquels on entend diffuser les résultats aux usagers. Pour améliorer la dissémination des résultats, le CRSNG organise également des ate-

liers et des séminaires auxquels participe le personnel des universités et de l'industrie.

En 1984-1985, 68 subventions thématiques d'une valeur globale de 3,6 millions $ ont été accordées à des projets de biotechnologie. Le nombre total de demandes était de 81 pour la biotechnologie, sans changement par rapport à l'an dernier. Le CRSNG espérait parvenir à un taux de financement de 30 pour cent et, de fait, a enregistré un taux de 25 pour cent pour l'ensemble du programme de subventions thématiques. La réussite de ce dernier était un peu moins grande en ce qui concerne la biotechnologie. En effet, près de 75 pour cent des propositions n'ont pas été jugées suffisamment pertinentes. Cela pourrait être attribué partiellement au faible taux de participation de l'industrie aux efforts de sélection. En effet, les projets que les universitaires ne jugent pas pertinents pourraient être perçus de façon différente par les industriels. Le comité de subventions thématiques pour la biotechnologie ne compte actuellement qu'un seul représentant du secteur privé, malgré les tentatives du CRSNG pour corriger ce déséquilibre.

Les efforts du CRSNG pour tenir compte de la valeur industrielle d'un projet dans son programme de subventions thématiques plaident en faveur du développement commercial de la biotechnologie. Les universités canadiennes possèdent un réservoir d'expertise dont le secteur privé pourrait profiter pour consolider sa position sur les marchés canadien et étrangers. Face au nombre très restreint de Canadiens qui possèdent une certaine expérience de la biotechnologie industrielle, le CRSNG pourrait demander au Comité consultatif national sur la biotechnologie de prier certains de ses membres venant de l'industrie de siéger au comité des subventions thématiques en biotechnologie.

Les groupes commerciaux qui comptent des représentants de sociétés de biotechnologie devraient également appuyer les efforts du CRSNG pour tenir compte de la valeur industrielle des projets dans son programme de subventions thématiques, et saisir l'occasion pour encourager la conduite, dans les universités, de recherches commercialement utiles.

23. La Chambre de commerce du Canada et l'Association des manufacturiers canadiens devraient encourager leurs membres à siéger davantage aux comités de sélection des subventions thématiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie.

Échanger l'information avec d'autres pays

Une meilleure liaison entre différents organismes canadiens est un préalable à l'essor commercial de la biotechnologie canadienne. Toutefois, le développement et l'exploitation rapides de la biotechnologie dans d'autres pays doivent être également surveillés de près si l'industrie canadienne veut se tailler une place sur le marché et éviter le recoupement des efforts. Le

Conseil des sciences estime que les conseillers scientifiques devraient chercher plus activement à faciliter l'acquisition des technologies étrangères[22]. L'industrie canadienne devrait pouvoir recourir à un service « centralisé » pour obtenir cette information.

Pour favoriser l'exploitation commerciale de l'expertise canadienne en biotechnologie ailleurs dans le monde, le ministère d'État au commerce international (par l'entremise du réseau des conseillers scientifiques) devrait entretenir des relations étroites avec le ministère de l'Expansion industrielle régionale et intensifier l'acquisition de connaissances sur les marchés ainsi que la communication, aux sociétés canadiennes, des renseignements sur les activités internationales en biotechnologie.

Conclusion

Les biotechnologies peuvent revivifier un secteur primaire en déclin et lui permettre de faire face à une concurrence accrue et à une demande nouvelle sur le marché. Toutefois, si elle est essentielle, une intensification de la R et D en biotechnologie n'est pas suffisante. Le Canada est mal préparé au développement des industries misant sur la technologie et à l'adoption d'une attitude résolue au plan du marketing. Il existe un besoin urgent de personnel qualifié et de meilleures relations entre les universités et l'industrie. Les lacunes au niveau de la recherche doivent être comblées et, par-dessus tout, les représentants des universités, de l'industrie et du gouvernement doivent reconnaître leurs responsabilités mutuelles face à la promotion du virage technologique, collaborer pour éliminer les obstacles à l'expansion et concentrer leurs efforts sur l'exploitation commerciale des résultats des recherches.

Chapitre 5

Conclusions et sommaire des recommandations

La biotechnologie est un important secteur de la haute technologie et les industries canadiennes de matières premières ont besoin des avantages qu'on peut en retirer. Jusqu'à présent, l'abondance des richesses naturelles avait permis à ces industries de monopoliser une grande partie du marché mondial sans faire appel à la R et D ou aux nouvelles technologies. Toutefois, le Canada perd du terrain et notre réserve de matières premières s'épuise. D'autres pays, en particulier ceux de l'Europe de l'Ouest qui n'ont jamais bénéficié de grandes richesses naturelles, ont choisi d'ajuster la production aux besoins des consommateurs grâce à la R et D et à la technologie.

En règle générale, les industries canadiennes de matières premières n'ont pas réagi efficacement à l'évolution de la demande mondiale. La croissance de la demande de blé mi-dur et tendre n'a suscité qu'une réaction tardive dans le secteur agricole. De son côté, l'industrie des pâtes et papiers produit du papier journal en surabondance, mais elle n'a pas assez tenu compte de l'accroissement de la demande mondiale en papier de qualité supérieure. Les vieilles stratégies n'ont pas leur place dans le monde moderne. L'expansion du marché se poursuit au niveau de produits nouveaux que le Canada est mal placé pour fabriquer.

Le Canada n'est pas encore dans une position qui lui permettrait de revivifier son secteur des matières premières par la biotechnologie. On devra assister au préalable à un certain nombre de changements importants, qui constituent l'objectif implicite des recommandations du Conseil des sciences en ce qui concerne la biotechnologie.

- Il est nécessaire d'intensifier et de concentrer la recherche fondamentale afin de créer une masse critique de chercheurs.
- Le secteur des matières premières, en particulier les grandes entreprises canadiennes, doit orienter les travaux des laboratoires de recherche du gouvernement et des universités pour que ceux-ci tiennent davantage compte des tendances du marché.
- Il faut resserrer les liens entre l'industrie et les chercheurs du gouvernement et des universités.
- Le système de réglementation doit être plus propice au développement de la biotechnologie et on doit combler les lacunes qui existent sur le plan juridique.

Les recommandations du rapport ont été formulées pour répondre à ces fins, et elles visent trois principaux intervenants : les universités, l'industrie et le gouvernement. Les universités se chargeront de la recherche sur

les sciences qui constituent le fondement même de la biotechnologie. Pour cela, elles auront besoin de fonds adéquats et d'un personnel qualifié suffisant. Les industries qui peuvent tirer parti de la biotechnologie devront accepter de commercialiser les résultats expérimentaux et d'appliquer les sciences fondamentales à des problèmes précis cernés par le marché. Pour cela, elles devront coopérer avec les universités et appliquer leur connaissance du marché à l'orientation des recherches. Les gouvernements fédéral et provinciaux devront favoriser ce processus en clarifiant les objectifs des politiques déjà établies en matière de biotechnologie, ainsi qu'en facilitant la liaison entre les deux autres secteurs. Il est nécessaire que les trois intervenants accomplissent un effort national pour que l'ensemble des recherches sur la biotechnologie réponde aux besoins du pays.

Sommaire des recommandations

Le succès de la biotechnologie dans le secteur primaire canadien repose sur deux conditions essentielles : la recherche et la commercialisation. Les deux premières recommandations du Conseil des sciences portent sur ces conditions et constituent un préalable aux autres recommandations.

1. On devrait octroyer au Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie un fonds extraordinaire de 15 millions $ par année pendant 10 ans pour lui permettre de créer 5 à 10 équipes pluridisciplinaires dont chacune s'attaquerait à un sujet essentiel à l'avancement de la biotechnologie.

2. Le Conseil national de recherches devrait créer un programme d'affermage de 10 millions $ pour soutenir la recherche en biotechnologie dans les petites et moyennes entreprises.

Intensification de la recherche fondamentale

3. Agriculture Canada devrait dévoiler ses intérêts stratégiques et ses projets de recherche à long terme en ce qui concerne la biotechnologie et, par réaffectation, porter les fonds réservés aux projets dans ce domaine à 20 pour cent de son budget total de recherche.

6. Agriculture Canada et les provinces qui financent la recherche biotechnologique en agriculture devraient accorder leurs subventions sans tenir compte de l'organisme ni de la discipline auxquels appartient la personne qui présente la demande.

13. L'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers devrait mettre sur pied un programme de recherche et de développement de 10 ans en biotechnologie par l'entremise de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers, qui lui est associé.

14. Le secteur canadien des pâtes et papiers devrait doubler son effort de R et D pour qu'il corresponde à 0,6 pour cent de son chiffre d'affaires d'ici à 1992, et porter à 5 pour cent la partie des fonds de recherche consacrés à la biotechnologie.

15. Les entreprises canadiennes de pâtes et papiers devraient financer la recherche contractuelle dans les universités canadiennes jusqu'à concurrence de 20 pour cent des fonds qu'elles affectent à la R et D.

16. Le Comité consultatif national sur la biotechnologie devrait établir des buts et des objectifs applicables au secteur des matières premières dans le cadre des programmes nationaux de biotechnologie.

17. Le ministre d'État aux Sciences et à la Technologie devrait mettre sur pied un programme national sur le développement à long terme de collections de cultures.

Réaction à l'attraction du marché

19. Le ministère de l'Expansion industrielle régionale devrait coordonner sa stratégie afin de soutenir la biotechnologie industrielle.

20. Le ministère de l'Expansion industrielle régionale devrait affecter 10 millions $ par année au financement des applications commerciales de la biotechnologie dans les entreprises canadiennes grâce à une réaffectation des fonds du Programme de développement régional et industriel.

Liaison entre les chercheurs et l'industrie

5. Agriculture Canada devrait accorder assez de ressources au Conseil de recherche agricole du Canada pour que celui-ci continue de mettre à jour sa revue et son répertoire des projets de recherche en biotechnologie.

7. Agriculture Canada devrait présenter de nouveau au Parlement le projet de loi sur la protection des droits des obtenteurs.

10. Les ministères provinciaux de l'agriculture et Agriculture Canada devraient, dans le cadre de leur étude sur le transfert technologique, proposer des mécanismes susceptibles d'accroître la coopération et la coordination au niveau du secteur privé.

21. Le ministère de la Consommation et des Corporations devrait accélérer l'automatisation du système d'examen des brevets et passer des contrats avec le secteur privé en vue de diffuser l'information contenue dans les brevets.

22. En consultation avec la communauté universitaire, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, le Conseil de recherches médicales et le Conseil de recherches en sciences humaines devraient élaborer des directives susceptibles d'aider les chercheurs des universités à faire valoir leurs droits en matière de propriété intellectuelle.

23. La Chambre de commerce du Canada et l'Association des manufacturiers canadiens devraient encourager leurs membres à siéger davantage aux comités de sélection des subventions thématiques du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie.

Élimination des lacunes sur le plan juridique

4. Le Cabinet fédéral devrait établir des installations de testage des produits de phytoprotection et de médecine vétérinaire.

8. Agriculture Canada devrait examiner le système actuel d'homologation des variétés afin d'en cerner les effets sur la création et l'introduction des nouvelles variétés, y compris celles qui dérivent de la biotechnologie, en vue d'encourager l'adoption rapide des nouvelles variétés agricoles.

9. Agriculture Canada devrait étendre la gamme des cultivars de blé dont la culture est autorisée au Canada.

11. En collaboration avec Santé et Bien-être social Canada et Environnement Canada, Agriculture Canada devrait formuler des directives sur l'homologation des antiparasitaires qui n'existent pas dans la nature, y compris ceux qui proviennent de la modification génétique des micro-organismes.

12. En collaboration avec Santé et Bien-être social Canada et Environnement Canada, Agriculture Canada devrait élaborer des directives concernant l'essai sur le terrain des semences génétiquement modifiées qu'on destine à une utilisation commerciale.

18. Le Groupe de travail sur la sécurité et la réglementation de la biotechnologie devrait surveiller la recherche en génie génétique et les activités connexes afin d'élaborer des directives et des normes applicables à la libération, dans l'environnement, de produits génétiquement modifiés.

Références

Chapitre 1

1. D. Webber, « Biotechnology Moves into the Marketplace, » *Chemical and Engineering News* 62(1984), 16, 11-15, 18-19.
2. Congrès des États-Unis, Office of Technology Assessment, *Commercial Biotechnology: An International Analysis* (Washington, D.C., 1984), 217-233.
3. Conseil national de recherches du Canada, *Institut de recherches en biotechnologie—Plan stratégique préliminaire* (Ottawa, 1984), 26.
4. Institut canadien des engrais, données inédites.
5. Pour un exposé complet sur les répercussions de la biotechnologie sur la restructuration de l'agriculture et la recherche agricole, voir M. Kenney et coll., « Genetic Engineering and Agriculture: Exploring the Impacts of Biotechnology on Industrial Structure, University-Industry Relationships, and the Social Organization of US Agriculture », *Cornell Rural Sociology Bulletin* 125(1982), 1-94; et M. Kenney et J. Kloppenburg, « The American Agricultural Research System: An Obsolete Structure? », *Agricultural Administration* 14(1983), 1-10.
6. Congrès des États-Unis, Office of Technology Assessment, op. cit.
7. C.G. Edwards, J. Elkington et A.M. Murray, « Japan Taps into New Biotech », *Bio/technology* 2(1984), 307-321.
8. J.R. Murray, « Patterns of Investment in Biotechnology II: 1983 Financing for Health Applications Increases over Agriculture », *Bio/technology* 2(1984), 332-333.
9. Voir C.H. Bigland, *Potential for the Application of Biotechnology in the Development and Production of Animal Vaccines and Monoclonal Antibodies in Canada*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).
10. Statistique Canada, Division de la statistique des sciences et de la technologie, *Activités scientifiques fédérales, 1984-1985* (Ottawa, 1984), 62.
11. La société Labatt tente de créer des nouvelles levures capables de convertir une vaste gamme d'aliments du bétail, Canada Packers accomplit des recherches sur les facteurs de croissance des cultures de cellules de mammifère, et la firme George Weston a entrepris des travaux sur les biopolymères et les lipides bactériens. De plus, le Canadien Pacifique a fondé une chaire en biotechnologie et subventionne des projets de recherches agricoles dans plusieurs universités canadiennes.
12. Ministère d'État aux Sciences et à la Technologie, *La biotechnologie : un plan de développement pour le Canada*, rapport du Groupe de travail sur la biotechnologie au ministre d'État aux Sciences et à la Technologie (Ottawa, 1981).
13. Ministère d'État aux Sciences et à la Technologie, *Éléments de la stratégie nationale en biotechnologie du Canada*, notes explicatives pour *En route vers 1990 : le développement technologique du Canada* (Ottawa, 1983).
14. Conseil national de recherches du Canada, *Rapport annuel 1983-1984* (Ottawa, 1984), 32.
15. Conseil national de recherches du Canada, *Institut de recherches en biotechnologie*.
16. Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, *Rapport du président, 1983-1984* (Ottawa, 1983), 10.

17. Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, « Report on the 1984-85 Competition for Strategic Grants », *Contact* 10(1985), 1, 10-13.
18. Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, *Rapport du président, 1983-1984*, 11.
19. Cette opinion est conforme aux propres observations du CRSNG sur les ressources universitaires en matière de recherche. Le groupe de travail sur l'infrastructure de la recherche constitué en 1984 par le CRSNG, par exemple, recommandait que le budget du programme de subventions d'infrastructure passe de 12 à 60 millions $. *Contact* 10(1985), 1, 18.
20. Gouvernement du Québec, Groupe de travail pour la préparation d'un rapport de conjoncture sur la recherche et le développement dans le secteur forestier au Québec, *Le secteur forestier : bilan et perspectives* (Québec, 1983).
21. Conseil des universités, *Rapport du Comité sur la formation en biotechnologie* (Québec, 1984).
22. K.A.J. Hay et R.J. Davies, « Declining Resources, Declining Markets », *International Perspectives*, mars-avril 1984, 13-18.
23. Voir J.N.H. Britton et J.M. Gilmour, *Le maillon le plus faible—L'aspect technologique du sous-développement industriel du Canada*, étude de documentation 43 (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1980). Voir aussi Conseil des sciences du Canada, *Le maillon consolidé—Une politique canadienne de la technologie*, rapport 29, et *Le développement industriel au Canada—Quelques propositions d'action*, rapport 37 (Ottawa, 1979 et 1984).
24. Le Conseil des sciences a déjà identifié l'aquiculture comme un secteur d'exploitation des matières premières ouvert à la biotechnologie et qui présente d'énormes possibilités pour le Canada. Voir Conseil des sciences du Canada, *L'aquiculture : un plan de développement pour le Canada*, rapport final du Groupe d'étude du secteur privé sur l'aquiculture (Ottawa, 1984).
25. Pour une bonne revue des projets des recherches en cours au Canada, voir Conseil de recherche agricole du Canada, *Biotechnology: Research and Development for Canada's Agriculture and Food System*, polycopié (Ottawa, 1983).
26. Voir L. Jurasek et M.G. Paice, *Biotechnology in the Pulp and Paper Industry*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).
27. S. Stewman et coll., « Recombinant DNA Breakthroughs in Agriculture, Industry and Medicine: A Delphi Study », *Futures* 13(1981), 128-140.
28. Voir Conseil national de recherches du Canada, *Institut de recherches en biotechnologie*, 26-27.
29. Ministère d'État aux Sciences et à la Technologie, *La biotechnologie : un plan de développement*. Ce rapport tirait la même conclusion. La situation n'a guère évolué depuis.
30. Voir par exemple R.E. Cape, « On Deserving Awe and Envy », *Bio/technology* 2(1984), 912; A. Klausner, « Prioritizing Biotechnology », *Bio/technology* 2(1984), 1007; S. Yanchinski, « Industry Wants a Role for Government », *New Scientist* 1396(1984), 29-30.
31. Congrès des États-Unis, Office of Technology Assessment, op. cit., 11.
32. W.G. Hutchinson and Company Ltd., *Directions: Canada's High Tech Industry 1985-1990*, rapport polycopié (Toronto, 1985), 91.
33. Telle est la conclusion des recherches effectuées par la National Science Foundation sur le programme SBIR (communication personnelle de R.R. Tibbetts, directeur de programme); pour un exposé plus général sur la valeur de ce programme et son impact sur la biotechnologie, voir J. Van Brunt, « Researchers Praise Phase I and II SBIR », *Bio/technology* 3(1985), 287-288.

Chapitre 2

1. Conseil de recherche agricole du Canada, *Biotechnology: Research and Development for Canada's Agriculture and Food System*, polycopié (Ottawa, 1983) et *Inventory of Biotechnology*, polycopié (Ottawa, 1985); ministère d'État aux Sciences et à la Technologie, *La biotechnologie au Canada*, document de travail 11 (Ottawa, 1980); Conseil des sciences du Canada, *Les promesses et les aléas de la biotechnologie au Canada*, compte rendu d'un atelier parrainé par l'Institut de recherches politiques et le Conseil des sciences du Canada, inédit en français (Ottawa, 1980).
2. Pour une revue intéressante, voir J.H. Hulse, « Biotechnology: New Horns for an Old Dilemma », *Food Technology in Australia* 36(1984), 6, 271-277.
3. Conseil de recherche agricole du Canada, op. cit, 75.
4. Ibid., passim.
5. Ibid., 23.
6. C.H. Bigland, *Potential for the Application of Biotechnology in the Development and Production of Animal Vaccines and Monoclonal Antibodies in Canada*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984), 16.
7. Un signe encourageant a été la création de la Canadian Embryo Transfer Association à Saskatoon, en 1984.
8. Voir J.N.H. Britton et J.M. Gilmour, *Le maillon le plus faible—L'aspect technologique du sous-développement industriel du Canada*, étude de documentation 43 (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1978); Conseil des sciences du Canada, *Le maillon consolidé—Une politique canadienne de la technologie*, rapport 29 (Ottawa, 1979); F. Longo, *Industrial R&D and Productivity in Canada*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984); Conseil des sciences du Canada, *Le développement industriel au Canada—quelques propositions d'action*, rapport 37 (Ottawa, 1984).
9. T.F. Funk, *An Examination of Policy Issues Related to the Adoption of Biotechnology Research by the Canadian Seed Industry*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984), 72.
10. M. Kenney et coll., « Genetic Engineering and Agriculture: Socioeconomic Aspects of Biotechnology R&D in Developed and Developing Countries », compte rendu de la première conférence-exposition mondiale des applications et retombées commerciales de la biotechnologie (Londres, 1983), 475-488.
11. A. Ulrich, H. Furtan, et K. Downey, *Biotechnology and Rapeseed Breeding: Some Economic Considerations*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).
12. Dans ce contexte, il est intéressant de noter que la United States National Academy of Sciences considère la recherche en biologie végétale comme un domaine susceptible d'entraîner le rendement scientifique le plus élevé compte tenu d'une injection suffisante de fonds fédéraux. « US Plant Biology Research Totals $200m », *Outlook on Science Policy* 7(1985), 9.
13. E.J. LeRoux, « La recherche, c'est rentable », *Compte rendu de la conférence sur les perspectives de l'agriculture canadienne* (Ottawa, Agriculture Canada, 1983), 18.
14. D.G. Hamilton, *Évaluation de la recherche et du développement agro-alimentaires au Canada* (Ottawa, Conseil de recherche agricole du Canada, 1980), 24-25.
15. Conseil de recherche agricole du Canada, op. cit., 66.

16. Voir par exemple S.W. Martin, « Vaccination: Is it Effective in Preventing Respiratory Disease or Influencing Weight Gains in Feedlot Calves? » *Canadian Veterinary Journal* 24(1983), 10-19; J. Wilson et A.D. Osborne, « Antibiotic Therapy for Experimentally Induced *Hemophilus pleuropneumoniae* in Pigs », présenté au *Canadian Veterinary Journal*, 1984; D. Waltner-Toews, S.W. Martin et A.H. Meek, « A Field Trial to Test the Efficacy of a Combined Rotavirus-Coronavirus-*E. coli* vaccine in Dairy Cattle », compte rendu du quatrième colloque international de la VIDO sur la diarrhée des veaux nouveaux-nés, 3-5 octobre 1983, 456-478; L.J. Saif, D.R. Redman, L.L. Smith et K.W. Theil, « Passive Immunity to Bovine Rotavirus in Newborn Calves Fed Colostrum Supplements from Immunized or Non-Immunized Cows », *Infection and Immunity* 41(1983), 1118-1131.
17. Consulter par exemple W.H. Furtan, « Agricultural Research and Bill C-32 », document de travail ministériel (Saskatoon, université de la Saskatchewan, département d'économie rurale, 1980); R.M.A. Loyns et A.J. Begleiter, « An Examination of the Potential Economic Impacts of Plant Breeders' Rights on Canada », rapport inédit (Ottawa, Consommation et Corporations, Bureau de la propriété intellectuelle, 1982); C.J. Dias et Y.P. Ghai, « Plant Breeding and Plant Breeders' Rights in the Third World: Perspectives and Policy Options », rapport inédit (Ottawa, Centre de recherches pour le développement international, 1983).
18. Agriculture Canada, « A Survey of Effects of Plant Breeders' Rights Legislation in Other Countries », rapport inédit (Ottawa, 1980).
19. T.F. Funk, op. cit., 71.
20. W. Bushuk, « Plant Science: Summation », préparé à l'intention de *The Prairie Production Symposium*, parrainé par le Comité consultatif de la Commission canadienne du blé, Saskatoon, octobre 1980, 18-19.
21. R.M.A. Loyns et coll., « Constraints on Biotechnological Developments in Canadian Grains with Special Reference to Licensing of Varieties », rapport inédit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).
22. Une estimation prudente des coûts imputables au refus d'homologuer le cultivar de blé HY320 (blé mi-dur) correspond environ aux revenus agricoles nets réalisés en 1982 par l'ensemble des producteurs du Manitoba (c'est-à-dire de 200 à 400 millions $). A. Ulrich et W.H. Furtan, *An Economic Evaluation of Producing HY320 Wheat on the Prairies* (Saskatoon, université de la Saskatchewan, département d'économie rurale, 1984), vi.
23. Voir H.R. Baker, « Agricultural Extension and Biotechnology », rapport inédit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).
24. W. Smith, « Production et consommation dans le système agro-alimentaire québécois : une approche géographique », *Cahiers de géographie du Québec* 25(1981), 323-341.
25. H.G. Coffin, R. Dupuis et L. Fischer, « An Evaluation of Technology Transfer Through Contractual Agreements in Agriculture: Case Studies in Sweet Corn and Pedigreed Seed Production in Quebec », rapport inédit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).
26. Voir par exemple Canadian Environmental Law Research Foundation, *Biotechnology and the Environment: A Regulatory Proposal*, exposé à débattre (Toronto, 1984).
27. Conseil des sciences du Canada, *Les promesses et les aléas de la biotechnologie au Canada*, compte rendu d'un atelier parrainé par l'Institut de recherches politiques et le Conseil des sciences du Canada (Ottawa, 1980); Conseil des sciences du Canada, *Le pouvoir de réglementation et son contrôle—Sciences*,

valeurs humaines et décisions, rapport 35 (Ottawa, 1982); H. Eddy, *La reglementation des recherches sur la recombinaison génétique—Le dossier de trois pays*, exposé à débattre (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1983); S. Krimsky, *Regulatory Policies on Biotechnology in Canada*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).

28. S. Krimsky, op. cit., 5.
29. Pour une discussion intéressante sur les problèmes, les possibilités et les solutions politiques auxquels est confrontée l'agriculture canadienne, voir J.G. Gilson, « The Canadian Agricultural Industry: Issues, Challenges and Policy Options », document présenté à la conférence nationale sur l'économie, Ottawa, 22-23 mars 1985.

Chapitre 3

1. Woodbridge, Reed and Associates Ltd., *British Columbia's Forest Products: Constraints to Growth*, préparé pour le ministère d'État au Développement économique et régional de la Colombie-Britannique (Vancouver, 1984), 75.
2. Voir par exemple Conseil des sciences du Canada, *La forêt canadienne en danger* (Ottawa, 1983).
3. R. Hayter, « The Canadian Forest Industries », dans *Canada's Resource Industries*, I. Wallace, éditeur (Toronto, Wiley, sous presse).
4. Ibid.
5. Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *Tables de statistiques—1984* (Montréal, 1984), 8.
6. Woodbridge, Reed and Associates Ltd., op. cit., 74.
7. Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *L'industrie canadienne des pâtes et papiers* (Montréal, 1984), 1-2.
8. Woodbridge, Reed and Associates Ltd., op. cit., 84.
9. Voir R. Hayter, op. cit.
10. Voir T.K. Kirk, T.W. Jeffries et G.F. Leatham, « Biotechnology: Applications and Implications for the Pulp and Paper Industry », *Tappi Journal* 66(1983), 5 : 45-51; et L. Jurasek et M.G. Paice, *Biotechnology in the Pulp and Paper Industry*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).
11. Pour ces raisons, le Conseil des sciences a récemment parrainé un atelier national afin de cerner les possibilités d'application de la biotechnologie à la foresterie.
12. Voir T.M. Powledge, « Biotechnology Touches the Forest », *Bio/technology* 2(1984), 763-772.
13. Pour un examen en profondeur du sujet, voir J.M. Bonga et D.J. Durzan, éditeurs, *Tissue Culture in Forestry* (La Haye, Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, 1982). Voir aussi E. Mason et F.W. Maine, *Tissue Culture and Micropropagation for Forest Biomass Production: Literature Review* (Ottawa, Conseil national de recherches, division de l'énergie (Guelph, Frank Maine Consulting Ltd., 1984).
14. B.C. Garner, M.F. Davy et K.M. Thompson, « Opportunities for Biotechnology in the Canadian Pulp and Paper Industry », rapport inédit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984).
15. Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, communication personnelle.
16. Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *Tables de statistiques—1984*, 5.

17. Conseil des sciences du Canada, op. cit., 3.
18. Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers, *Tables de statistiques—1984*, 5.
19. Une liste de ces groupes figure dans L. Jurasek et M.G. Paice, op. cit., 47-51.
20. Voir T.E. Tautorus et P.M. Townsley, « Biotechnology in Commercial Mushroom Fermentation », *Bio/technology* 2(1984), 696-701.
21. F. Amesse, « The Canadian Pulp and Paper Industry: A Preliminary Analysis of a Technological Gap Situation », thèse de doctorat inédite (Montréal, Université de Montréal, École des Hautes Études Commerciales, 1979).
22. R. Hayter, « Research and Development in the Canadian Forest Product Sector—Another Weak Link? » *Canadian Geographer* 26(1982), 256-263.
23. Ibid.
24. R. Hayter, « The Canadian Forest Industries ».
25. Sources variées de données inédites.
26. R. Hayter, « Research and Development » et « The Evolution and Structure of the Canadian Forest Product Sector: An Assessment of the Role of Foreign Ownership and Control », *Fennia*, sous presse.
27. R. Hayter, « Evolution and Structure ».
28. O.M. Solandt, *Forest Research in Canada* (Ottawa, Canadian Forestry Advisory Council, 1979).

Chapitre 4

1. S.L. Smith, « High Tech: Agriculture's Long-Term Future », *Agrologist* 13(1984), 2, 12-13.
2. Voir par exemple Conseil des sciences du Canada, *L'aquiculture—Une occasion à saisir* (Ottawa, 1985).
3. Ministère d'État aux Sciences et à la Technologie, *La biotechnologie : un plan de développement pour le Canada*.
4. Voir par exemple A. Zimmerman, « Investment in Foresters », *Policy Options* 3(1982), 1, 20-21; et P. Hohenadel, « Heirs Unapparent », *Saturday Night*, août 1983, 9-10.
5. Conseil national de recherches, *Task Force on Human Resources for Biotechnology* (Ottawa, 1984).
6. Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie, *Guide des subventions—1985-1986* (Ottawa, 1984), 55.
7. K.G. Davey, *Biological Research in Federal Laboratories*, préparé pour le Biological Council of Canada (Ottawa, 1982), 11. Par la suite, d'autres organismes scientifiques comme la Société canadienne des microbiologistes ont soulevé la question de la participation des chercheurs fédéraux aux rencontres scientifiques.
8. Conclusion à laquelle sont arrivés les participants de l'atelier du Conseil des sciences sur les banques nationales de cultures organisé en mars 1985.
9. Pour une étude du rôle capital des banques de cultures pour la biotechnologie, voir B. Kirsop, « Culture Collections—Their Services to Biotechnology », *Trends in Biotechnology* 1(1983), 4-8.
10. P. McQuillan et H. Taylor, *Sources des capitaux spéculatifs au Canada*, édition revue et corrigée (Ottawa, ministère de l'Industrie et du Commerce, 1978); B. Marshall et R. Forbes, « Venture Capital Financing of New Technologies », *Business Quarterly* 48(1983), 4, 105-109.
11. « Funding Still Hard to Find for 'Little Guys' », *The Financial Post*, 10 décembre 1983, 24; M. Tefft, « Canadian Risk Capitalists Having a Very Good

Year », *The Financial Post*, 22 septembre 1984, S10; P. Kemball « Venture Capital and Capital for Ventures », rapport inédit (Ottawa, ministère de l'Expansion industrielle régionale, Secrétariat à la petite entreprise, 1983).

12. Calgary Council for Advanced Technology, *Brief for the Royal Commission on the Economic Union and Development Prospects for Canada* (Calgary, 1983); P. McQuillan et H. Taylor, op. cit.; Association of Canadian Venture Capital Companies, *Annual Report 1983-84* (Toronto, 1984).
13. Mary Macdonald, *Les fonds de pension et le capital-risque*, document d'étude (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, à venir).
14. Conseil des sciences du Canada, *Le développement industriel au Canada—Quelques propositions d'action*, rapport 37 (Ottawa, 1984), 22-25.
15. Voir C.H. Bigland, *Potential for the Application of Biotechnology in the Development and Production of Animal Vaccines and Monoclonal Antibodies in Canada*, rapport manuscrit (Ottawa, Conseil des sciences du Canada, 1984), 42.
16. Voir K. Omae, « Patents: Key to Business Growth », *Canadian Business Review* 10(1983), 3, 35-38; Conseil économique du Canada, *Les enjeux du progrès—innovations, commerce et croissance* (Ottawa, 1983).
17. Voir par exemple Consommation et Corporations Canada, « Le Bureau des brevets du gouvernement canadien—une mine de renseignements technologiques », feuille de renseignements, janvier 1984.
18. Voir Conseil économique du Canada, op. cit., 60.
19. Voir par exemple Organisation pour la coopération et le développement économique, Comité de la politique scientifique et technologique, « Patent Protection in Biotechnology: An International Review », document inédit (Paris, 1984).
20. Bureau canadien des brevets, données inédites.
21. Québec, ministère de la Science et de la Technologie, *À l'heure des biotechnologies : rapport des missions sectorielles*, (Québec, 1984).
22. Conseil des sciences du Canada, *Le réseau des conseillers scientifiques canadiens* (Ottawa, 1984), 20.

Membres du Comité d'étude de la biotechnologie

Président
Frank W. Maine*

Membres
John M. Webster*
Adam H. Zimmerman*

Membres adjoints
E. Lawson Drake**
Mary-Lou Florian**
Donald W. Kydon**
C.T. Wolan**

Membres correspondants
Roger Blais**
David Suzuki*

Agents de projet
Calvin R. Cupp
Paul Dufour (jusqu'en avril 1985)
Thealzel Lee (jusqu'en février 1985)
Judith Miller (jusqu'en septembre 1983)
William Smith

*membre du Conseil
**ancien membre du Conseil

Membres du Conseil des sciences du Canada

Président
Stuart Lyon Smith

Vice-présidente
Vaira Vikis-Freibergs
Professeur
Département de psychologie
Université de Montréal
Montréal (Québec)

Membres
Norman L. Arrison
Directeur général
R-Mer Impact Devices Limited
Red Deer (Alberta)

Donald Francis Arseneau
Professeur de chimie et directeur
Institut Bras d'Or
University College of Cape Breton
Sydney (Nouvelle-Écosse)

Morrel P. Bachynski
Président
MPB Technologies Inc.
Dorval (Québec)

J. Lionet Boulet
Président
Fondation pour le développement de la science et de la technologie
Montréal (Québec)

Michael D.B. Burt
Professeur et président
Département de biologie
Université du Nouveau-Brunswick
Fredericton (Nouveau-Brunswick)

L[t]-col. Winslow Case
Division des sciences et de la technologie du génie
Collège Cambrian
Sudbury (Ontario)

Douglas Bennell Craig
Professeur de géologie
Université de la Colombie-Britannique
Collège Yukon
Whitehorse (Yukon)

James Cutt
Directeur
École d'administration publique
Université de Victoria
Victoria (Colombie-Britannique)

Robert O. Fournier
Vice-président adjoint (recherche)
Département d'océanographie
Université Dalhousie
Halifax (Nouvelle-Écosse)

Jean-Pierre Garant
Doyen
Faculté d'administration
Université de Sherbrooke
Sherbrooke (Québec)

Clay Gilson
Professeur
Département d'économie et de gestion agricoles
Université du Manitoba
Winnipeg (Manitoba)

Geraldine Anne Kenney-Wallace
Professeur de chimie et de physique
Université de Toronto
Toronto (Ontario)

Fernand Labrie
Directeur
Centre de recherches en endocrinologie moléculaire
Université Laval
Québec (Québec)

William P. Lukeman
Président
Hydrospace Marine Services
Saint-Jean (Terre-Neuve)

John S. MacDonald
Président
MacDonald, Dettwiler & Associates Ltd.
Richmond (Colombie-Britannique)

Ian G. MacQuarrie
Professeur
Département de biologie
Université de l'Île-du-Prince-Édouard
Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard)

Frank W. Maine
Président
Frank Maine Consulting Ltd.
Guelph (Ontario)

Karim Wade Nasser
Professeur
Département de génie civil
Université de la Saskatchewan
Saskatoon (Saskatchewan)

William H. (Lou) Reil
Président
Reil Industrial Enterprises Limited
Rexdale (Ontario)

Charles Robert Scriver
Professeur de biologie, de génétique et de pédiatrie
The Centre for Human Genetics
Université McGill
Montréal (Québec)

Rose Sheinin
Professeur
Département de microbiologie
Faculté de médecine
Université de Toronto
Toronto (Ontario)

Stefan Simek
Président
Ferguson, Naylor, Simek, Clark
Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest)

David Suzuki
The Nature of Things
Radio-Canada
Toronto (Ontario)

John M. Webster
Vice-président adjoint à l'enseignement
Doyen des études supérieures
Université Simon Fraser
Burnaby (Colombie-Britannique)

Henry C. Winters
Vice-président aux ventes
The Algoma Steel Corporation Ltd.
Mississauga (Ontario)

Hugh Robert Wynne-Edwards
Vice-président, Recherche et développement
Chef des services scientifiques
Alcan International Ltée
Montréal (Québec)

Adam H. Zimmerman
Président-directeur général
Noranda Inc.
Toronto (Ontario)

Publications du Conseil des sciences du Canada

Rapports du Conseil

N° 1 **Un programme spatial pour le Canada**, juillet 1967 (SS22-196/1F, 0,75 $), 37 p.

N° 2 **La proposition d'un générateur de flux neutroniques intenses—Première évaluation et recommandations**, décembre 1967 (SS22-1967/2F, 0,25 $), 13 p.

N° 3 **Un programme majeur de recherches sur les ressources en eau du Canada**, septembre 1968 (SS22-1968/3F, 0,75 $), 43 p.

N° 4 **Vers une politique nationale des sciences au Canada**, octobre 1968 (SS22-1968/4F, 1,00 $), 60 p.

N° 5 **Le soutien de la recherche universitaire par le gouvernement fédéral**, septembre 1969 (SS22-1969/5F, 0,75 $), 31 p.

N° 6 **Une politique pour la diffusion de l'information scientifique et technique**, septembre 1969 (SS22-1969F/6F, 0,75 $), 41 p.

N° 7 **Les sciences de la Terre au service du pays—Recommandations**, avril 1970 (SS22-1970/7F, 0,75 $), 37 p.

N° 8 **Les arbres...et surtout la forêt**, 1970 (SS22-1970/8F, 0,75 $), 22 p.

N° 9 **Le Canada...leur pays**, 1970 (SS22-1970/9F, 0,75 $), 43 p.

N° 10 **Le Canada, la science et la mer**, 1970 (SS22-1970/10F, 0,75 $), 39 p.

N° 11 **Le transport par ADAC : Un programme majeur pour le Canada**, décembre 1970 (SS22-1971/11F, 0,75 $), 35 p.

N° 12 **Les deux épis, ou l'avenir de l'agriculture**, mars 1971, (SS22-1971/12F, 1,25 $), 65 p.

N° 13 **Un réseau transcanadien de téléinformatique; 1ère phase d'un programme majeur en informatique**, août 1971 (SS22-1971/13F, 0,75 $), 41 p.

N° 14 **Les villes de l'avenir—Les sciences et les techniques au service de l'aménagement urbain**, septembre 1971 (SS22-1971/14F, 1,75 $), 75 p.

N° 15 **L'innovation en difficulté : Le dilemme de l'industrie manufacturière au Canada**, octobre 1971 (SS22-1971/15F, 0,75 $), 49 p.

N° 16 **« ...mais tous étaient frappés »—Analyse de certaines inquiétudes pour l'environnement et dangers de pollution de la nature canadienne**, juin 1972 (SS22-1972/16F, 1,00 $), 53 p.

N° 17 **In vivo—Quelques lignes directrices pour la biologie fondamentale au Canada**, août 1972 (SS22-1972/17F, 1,00 $), 77 p.

N° 18 **Objectifs d'une politique canadienne de la recherche fondamentale**, septembre 1972 (SS22-1972/18F, 1,00 $), 81 p.

N° 19 **Problèmes d'une politique des richesses naturelles au Canada**, janvier 1973 (SS22-1973/19F, 1,25 $), 65 p.

N° 20 **Le Canada, les sciences et la politique internationale**, avril 1973 (SS22-1973/20F, 1,25 $), 70 p.

N° 21 **Stratégies pour le développement de l'industrie canadienne de l'informatique**, septembre 1973 (SS22-1973/21F, 1,50 $), 84 p.

N° 22 **Les services de santé et la science**, octobre 1974 (SS22-1974/22F, 2,00 $), 144 p.

N° 23 **Les options énergétiques du Canada**, mars 1975 (SS22-1975/23F, Canada : 4,95 $; autres pays : 5,95 $), 151 p.

N° 24 **La diffusion des progrès techniques des laboratoires de l'État dans le secteur secondaire**, décembre 1975 (SS22-1975/24F, Canada : 1,00 $; autres pays : 1,20 $), 67 p.

N° 25 **Démographie, technologie et richesses naturelles**, juillet 1976 (SS22-1976/25F, Canada : 3,00 $; autres pays : 3,60 $), 93 p.

N° 26 **Perspective boréale—Une stratégie et une politique scientifique pour l'essor du Nord canadien**, août 1977 (SS22-1977/26F, Canada : 2,50 $; autres pays : 3,00 $), 99 p.

N° 27 **Le Canada, société de conservation—Les aléas des ressources et la nécessité de technologies inédites**, septembre 1977 (SS22-1977/27F, Canada : 4,00 $; autres pays : 4,80 $), 116 p.

N° 28 **L'ambiance et ses contaminants—Une politique de lutte contre les agents toxiques à retardement de l'ambiance professionnelle et de l'environnement**, octobre 1977 (SS22-1977/28F, Canada : 2,00 $; autres pays : 2,40 $), 76 p.

N° 29 **Le maillon consolidé—Une politique canadienne de la technologie**, février 1979 (SS22-1979/29F, Canada : 2,25 $; autres pays : 2,70 $), 74 p.

N° 30 **Les voies de l'autosuffisance énergétique—Les démonstrations nécessaires sur le plan national**, juin 1979 (SS22-1979/30F, Canada : 4,50 $; autres pays : 5,40 $), 211 p.

N° 31 **La recherche universitaire en péril—Le problème de la décroissance des effectifs d'étudiants**, décembre 1979 (SS22-1979/31F, Canada : 2,95 $; autres pays : 3,55 $), 69 p.

N° 32 **Collaboration à l'autodéveloppement—L'apport scientifique et technologique du Canada à l'approvisionnement alimentaire du Tiers Monde**, mars 1981 (SS22-1981/32F, Canada : 3,95 $; autres pays : 4,75 $), 120 p.

N° 33 **Préparons la société informatisée—Demain, il sera trop tard**, mars 1982 (SS22-1982/33F, Canada : 4,50 $; autres pays : 5,40 $), 87 p.

N° 34 **Les transports et notre avenir énergétique—Voyages interurbains au Canada**, septembre 1982 (SS22-1982/34F, Canada : 4,95 $; autres pays : 5,95 $), 128 p.

N° 35 **Le pouvoir de réglementation et son contrôle—Sciences, valeurs humaines et décisions**, octobre 1982 (SS22-1982/35F, Canada : 4,95 $; autres pays : 5,95 $), 110 p.

N° 36 **À l'école des sciences—La jeunesse canadienne face à son avenir**, avril 1984 (SS22-1984/36F, Canada : 5,25 $; autres pays : 6,30 $), 91 p.

N° 37 **Le développement industriel au Canada—Quelques propositions d'action**, septembre 1984 (SS22-1984/37F, Canada : 5,25 $; autres pays : 6,30 $), 94 p.

Exposés du Conseil

Le support de la recherche au Canada—Un investissement qui s'impose, mai 1978
La forêt canadienne en danger, mars 1983
Les conseillers scientifiques canadiens, novembre 1984
L'aquiculture, une occasion à saisir, mars 1985

Exposés des comités du Conseil

Pour une société de conservation : Une déclaration, par le Comité de la Société de conservation, 1976, 24 p.
Un potentiel de recherche du Canada en péril, par le groupe d'étude de la recherche au Canada, 1976, tête-bêche, 7 p.
Les perspectives incertaines de l'industrie canadienne de fabrication—1971-1977, par le Comité de la politique industrielle, 1977, 57 p.
La télématique : information de la société canadienne, par un Comité spécial, 1978, 46 p.
A Scenario for the Implementation of Interactive Computer-Communications Systems in the Home, par le Comité de la télématique, 1979, 40 p.
Les multinationales et la stratégie industrielle—Le rôle des droits exclusifs de diffusion mondiale d'un produit, par le Groupe d'étude de la politique industrielle, 1980, 79 p.
L'industrie dans une conjoncture difficile—Une déclaration, par le Comité de la politique industrielle, 1981, 107 p.
Les femmes et l'enseignement des sciences au Canada—Une déclaration, par le Comité de l'enseignement des sciences, 1982, tête-bêche, 6 p.

Rapports sur des questions soumises par le Ministre d'État

Recherche et développement au Canada—Rapport du Comité consultatif spécial pour la R & D auprès du Ministre d'État aux Sciences et à la Technologie, 1979, 35 p.

La sensibilisation du public canadien aux sciences et à la technologie—Rapport à l'intention du Ministre d'État chargé des Sciences et de la Technologie, 1981, 60 p.

Études de documentation

N° 1 **Upper Atmosphere and Space Programs in Canada**, par J.H. Chapman, P.A. Forsyth, P.A. Lapp, G.N. Patterson, février 1967 (SS21/1, 2.50 $), 258 p.

N° 2 **Physics in Canada: Survey and Outlook**, par un groupe d'étude de l'Association canadienne des physiciens dirigé par D.C. Rose, mai 1967 (SS21-1/2, 2.50 $), 385 p.

N° 3 **La psychologie au Canada**, par M.H. Appley et Jean Rickwood, septembre 1967 (SS21-1/3F, 2,50 $), 145 p.

N° 4 **La proposition d'un générateur de flux neutroniques intenses—Évaluation scientifique et économique**, par un Comité du Conseil des sciences du Canada, décembre 1967 (SS21-1/4F, 2,00 $), 203 p.

N° 5 **La recherche dans le domaine de l'eau au Canada**, par J.P. Bruce et D.E.L. Maasland, juillet 1968 (SS21-1/5F, 2,50 $), 190 p.

N° 6 **Études de base relatives à la politique scientifique : Projections des effectifs et des dépenses en R & D**, par R.W. Jackson, D.W. Henderson et B. Leung, 1969 (SS21-1/6F, 1,25 $), 94 p.

N° 7 **Le gouvernement fédéral et l'aide à la recherche dans les universités canadiennes**, par John B. Macdonald, L.P. Dugal, J.S. Dupré, J.B. Marshall, J.G. Parr, E. Sirluck et E. Vogt, 1969 (SS21-1/7F, 3,75 $), 397 p.

N° 8 **L'information scientifique et technique au Canada**, Première partie, par J.P.I. Tyas, 1969 (SS21-1/8F, 1,50 $), 74 p.
IIe partie, Premier chapitre : Les ministères et organismes publics (SS21-1/8-2-1F, 1,75 $), 188 p.
IIe partie, Chapitre 2 : L'industrie (SS21-1/8-2-2F, 1,75 $), 84 p.
IIe partie, Chapitre 3 : Les universités (SS21-1/8-2-3F, 1,75 $), 129 p.
IIe partie, Chapitre 4 : Organismes internationaux et étrangers (SS21-1/8-2-4F, 1,00 $), 67 p.
IIe partie, Chapitre 5 : Les techniques et les sources (SS21-1/8-2-5F, 1,25 $), 113 p.
IIe partie, Chapitre 6 : Les bibliothèques (SS21-1/8-2-6F, 1,00 $), 57 p.
IIe partie, Chapitre 7 : Questions économiques (SS21-1/8-2-7F, 1,00 $), 67 p.

N° 9 **La chimie et le génie chimique au Canada : Étude sur la recherche et le développement technique**, par un groupe d'étude de l'Institut de Chimie du Canada, 1969 (SS21-1/9F, 2,50 $), 106 p.

N° 10 **Les sciences agricoles au Canada**, par B.N. Smallman, D.A. Chant, D.M. Connor, J.C. Gilson, A.E. Hannah, D.N. Huntley, E. Mercier, M. Shaw, 1970 (SS21-1/10F, 2,00 $), 157 p.

N° 11 **L'Invention dans le contexte actuel**, par Andrew H. Wilson, 1970 (SS21-1/11F, 1,50 $), 82 p.

N° 12 **L'aéronautique débouche sur l'avenir**, par J.J. Green, 1970 (SS21-1/12F, 2,50 $), 156 p.

N° 13 **Les sciences de la Terre au service du pays**, par Roger A. Blais, Charles H. Smith, J.E. Blanchard, J.T. Cawley, D.R. Derry, Y.O. Fortier, G.G.L. Henderson, J.R. Mackay, J.S. Scott, H.O. Seigel, R.B. Toombs et H.D.B. Wilson, 1971 (SS21-1/13F, 4,50 $), 392 p.

N° 14 **La recherche forestière au Canada**, par J. Harry G. Smith et Gilles Lessard, mai 1971 (SS21-1/14F, 3,50 $), 234 p.

N° 15 **La recherche piscicole et faunique**, par D.H. Pimlott, C.J. Kerswill et J.R. Bider, juin 1971 (SS21-1/15F, 3,50 $), 205 p.

N° 16 **Le Canada se tourne vers l'océan : Étude sur les sciences et la technologie de la mer**, par R.W. Stewart et L.M. Dickie, septembre 1971 (SS21-1/16F, 2,50 $), 189 p.

N° 17 **Étude sur les travaux canadiens de R & D en matière de transport**, par C.B. Lewis, mai 1971 (SS21-1/17F, 0,75 $), 31 p.

N° 18 **Du formol au Fortran : La biologie au Canada**, par P.A. Larkin et W.J.D. Stephen, août 1971 (SS21-1/18F, 2,50 $), 87 p.

N° 19 **Les conseils de recherches dans les provinces, au service du Canada**, par Andrew H. Wilson, juin 1971 (SS21-1/19F, 1,50 $), 117 p.

N° 20 **Perspectives d'emploi pour les scientifiques et les ingénieurs au Canada**, par Frank Kelly, mars 1971 (SS21-1/20F, 1,00 $), 65 p.

N° 21 **La recherche fondamentale**, par P. Kruus, décembre 1971 (SS21-1/21F, 1,50 $), 73 p.

N° 22 **Sociétés multinationales, investissement direct de l'étranger, et politique des sciences du Canada**, par Arthur J. Cordell, décembre 1971 (SS21-1/22F, 1,50 $), 95 p.

N° 23 **L'innovation et la structure de l'industrie canadienne**, par Pierre L. Bourgault, mai 1973 (SS21-1/23F, 4,00 $), 135 p.

N° 24 **Aspects locaux, régionaux et mondiaux des problèmes de qualité de l'air**, par R.E. Munn, janvier 1973 (SS21-1/24F, 0,75 $), 39 p.

N° 25 **Les associations nationales d'ingénieurs, de scientifiques et de technologues du Canada**, par le Comité de direction de SCITEC et le Professeur Allen S. West, juin 1973 (SS21-1/25F, 2,50 $), 135 p.

N° 26 **Les pouvoirs publics et l'innovation industrielle**, par Andrew H. Wilson, décembre 1973 (SS21-1/26F, 2,50 $), 288 p.

N° 27 **Études sur certains aspects de la politique des richesses naturelles**, par W.D. Bennett, A.D. Chambers, A.R. Thompson, H.R. Eddy et A.J. Cordell, septembre 1973 (SS21-1/27F, 2,50 $), 126 p.

N° 28 **Formation et emploi des scientifiques : Caractéristiques des carrières de certains diplômés canadiens et étrangers**, par A.D. Boyd et A.C. Gross, février 1974 (SS21-1/28F, 2,25 $), 146 p.

N° 29 **Considérations sur les soins de santé au Canada**, par H. Rocke Robertson, décembre 1973 (SS21-1/29F, 2,75 $), 180 p.

N° 30 **Un mécanisme de prospective technologique : Le cas de la recherche du pétrole sous-marin sur le littoral atlantique**, par M. Gibbons et R. Voyer, mars 1974 (SS21-1/30F, 2,00 $), 116 p.

N° 31 **Savoir, Pouvoir et Politique générale**, par Peter Aucoin et Richard French, novembre 1974 (SS21-1/31F, 2,00 $), 93 p.

N° 32 **La diffusion des nouvelles techniques dans le secteur de la construction**, par A.D. Boyd et A.H. Wilson, janvier 1975 (SS21-1/32F, 3,50 $), 169 p.

N° 33 **L'économie d'énergie**, par F.H. Knelman, juillet 1975 (SS21-1/33F, Canada : 1,75 $; autres pays : 2,10 $), 95 p.

N° 34 **Développement économique du Nord canadien et mécanismes de prospective technologique : Étude de la mise en valeur des hydrocarbures dans le delta du Mackenzie et la mer de Beaufort, et dans l'Archipel arctique**, par Robert F. Keith, David W. Fischer, Colin E. De'Ath, Edward J. Farkas, George R. Francis et Sally C. Lerner, mai 1976 (SS21-1/34F, Canada : 3,75 $; autres pays : 4,50 $), 240 p.

N° 35 **Rôle et fonctions des laboratoires de l'État en matière de diffusion des nouvelles techniques vers le secteur secondaire**, par Arthur J. Cordell et James Gilmour, mars 1980 (SS21-1/35F, Canada : 6,50 $; autres pays : 7,80 $), 418 p.

N° 36 **Économie politique de l'essor du Nord**, par K.J. Rea, novembre 1976 (SS21-1/36F, Canada : 4,00 $; autres pays : 4,80 $), 270 p.

N° 37 **Les sciences mathématiques au Canada**, par Klaus P. Beltzner, A. John Coleman et Gordon D. Edwards, mars 1977 (SS21-1/37F, Canada : 6,50 $; autres pays : 7,80 $), 282 p.

N° 38 **Politique scientifique et objectifs de la société**, par R.W. Jackson, août 1977 (SS21-1/38F, Canada : 4,00 $; autres pays : 4,80 $), 140 p.

N° 39 **La législation canadienne et la réduction de l'exposition aux contaminants**, par Robert T. Franson, Alastair R. Lucas, Lorne Giroux et Patrick Kenniff, août 1978 (SS21-1/39F, Canada : 4,00 $; autres pays : 4,80 $), 152 p.

N° 40 **Réglementation de la salubrité de l'environnement et de l'ambiance professionnelle au Royaume-Uni, aux États-Unis et en Suède**, par Roger Williams, mars 1980 (SS21-1/40F, Canada : 5,00 $; autres pays : 6,00 $), 247 p.

N° 41 **Le mécanisme réglementaire et la répartition des compétences en matière de réglementation des agents toxiques au Canada**, par G. Bruce Doern, mars 1980 (SS21-1/41F, Canada : 5,50 $; autres pays : 6,00 $), 262 p.

N° 42 **La mise en valeur du gisement minier de la baie Strathcona : Une étude de cas en matière de décision**, par Robert B. Gibson, décembre 1980 (SS21-1/42F, Canada : 8,00 $; autres pays : 9,60 $), 378 p.

N° 43 **Le maillon le plus faible: L'aspect technologique du sous-développement industriel du Canada**, par John N.H. Britton et James M. Gilmour, avec l'aide de Mark G. Murphy, mars 1980 (SS21-1/43F, Canada : 5,00 $; autres pays : 6,00 $), 251 p.

N° 44 **La participation du gouvernement canadien à l'activité scientifique et technique internationale**, par Jocelyn Maynard Ghent, février 1981 (SS21-1/44F, Canada : 4,50 $; autres pays : 5,40 $), 155 p.

N° 45 **Coopération et développement international—Les universités canadiennes et l'alimentation mondiale**, par William E. Tossell, janvier 1981 (SS21-1/45F, Canada : 6,00 $; autres pays : 7,20 $), 163 p.

N° 46 **Le rôle accessoire de la controverse scientifique et technique dans l'élaboration des politiques de l'Administration fédérale**, par G. Bruce Doern, septembre 1981 (SS21-1/46F, Canada : 4,95 $; autres pays : 5,95 $), 125 p.

N° 47 **Les enquêtes publiques au Canada**, par Liora Salter et Debra Slaco, avec l'aide de Karin Konstantynowicz, juillet 1982 (SS21-1/47F, Canada : 7,95 $; autres pays : 9,55 $), 261 p.

N° 48 **Les entreprises émergentes : pour jouer gagnant**, par Guy P.F. Steed, décembre 1982 (SS21-1/48F, Canada : 6,95 $; autres pays : 8,35 $), 200 p.

N° 49 **Les pouvoirs publics et la microélectronique—L'expérience de cinq pays européens**, Dirk de Vos, mars 1983 (SS21-1/49F, Canada : 4,50 $; autres pays : 5,40 $), 125 p.

N° 50 **Le défi de la coopération—La politique industrielle dans la Fédération canadienne**, Michael Jenkin, août 1983 (SS21-1/50F, Canada : 8,95 $; autres pays : 10,75 $), 239 p.

N° 51 **Partenaires pour la stratégie industrielle—Le rôle particulier des Organismes provinciaux de recherches**, par Donald J. Le Roy et Paul Dufour, octobre 1983 (SS21-1/51F, Canada : 5,50 $; autres pays : 6,60 $), 155 p.

N° 52 **L'enseignement des sciences dans les écoles canadiennes**.
Volume I—Introduction et analyse des programmes d'études, par Graham W.F. Orpwood et Jean-Pascal Souque, avril 1984 (SS21-1/52-1-1984F, Canada : 8,00 $; autres pays : 9,60 $), 224 p.
Volume II—Données statistiques de base pour l'enseignement des sciences au Canada, par Graham W.F. Orpwood et Isme Alam, avril 1984 (SS21-1/52-2-1984F, Canada : 5,50 $; autres pays : 6,60 $), 125 p.
Volume III—Études de cas, sous la direction de John Olson et Thomas Russell, avril 1984 (SS21-1/52-3-1984F, Canada : 10,95 $; autres pays : 13,15 $), 316 p.

N° 53 **Le grand dérangement—À l'aube de la société d'information**, par Arthur J. Cordell, mars 1985 (SS21-1/53F, Canada : 7 $; autres pays : 8,40 $), 167 p.

Publications hors série

1976

Energy Scenarios for the Future, par Hedlin, Menzies & Associates, 423 p.
Science and the North: An Essay on Aspirations, par Peter Larkin, 8 p.

Dialogue sur le nucléaire—Compte rendu d'une table ronde sur les questions soulevées par l'énergie nucléaire au Canada, 76 p.

1977

Vue d'ensemble de la contamination par le mercure au Canada, par Clarence T. Charlebois, 23 p.
Vue d'ensemble des dangers de la contamination par le chlorure de vinyle au Canada, par J. Basuk, 24 p.
Materials Recycling: History, Status, Potential, par F.T. Gerson Limited, 98 p.

Les effectifs de la recherche universitaire—Tendances et orientations. Compte rendu de l'atelier sur la prévention du vieillissement des effectifs de recherche dans les universités, 19 p.
L'Atelier sur la prévention du vieillissement des effectifs de recherche dans les universités
Exposés à débattre, 215 p.
Documentation, 338 p.
Living with Climatic Change: Proceedings, 90 p.
Proceedings of the Seminar on Natural Gas from the Arctic by Marine Mode A Preliminary Assessment, 254 p.
Seminar on a National Transportation System for Optimum Service: Proceedings, 73 p.

1978

Le Centre des Ressources du Nord—Première étape vers la création de l'Université boréale, par le Comité de l'essor du Nord, 15 p.
Vue d'ensemble de la contamination par l'amiante au Canada, par Clarence T. Charlebois, 24 p.
Vue d'ensemble de la contamination par les oxydes d'azote au Canada, par J. Basuk, 23 p.
Federal Fund[illegible] of Science in Canada: Apparent and Effective Levels, par J. Miedzinski et K.P. Beltzner, 78 p.

Appropriate Scale for Canadian Industry: Proceedings, 211 p.
Proceedings of the Public Forum on Policies and Poisons, 40 p.
Science Policies in Smaller Industrialized Northern Countries: Proceedings, 93 p.

1979

Un contexte canadien pour l'enseignement des sciences, par James E. Page, 55 p.
Vue d'ensemble de la contamination par les rayonnements ionisants au Canada, par J. Basuk, 197 p.
Canadian Food and Agriculture: Sustainability and Self-Reliance: A Discussion Paper, par le Committee on Canada's Scientific and Technological Contribution to World Food Supply, 52 p.

À partir de la base—Contribution des ONG canadiens à l'alimentation et à l'aménagement rural dans le Tiers Monde, 163 p.
Opportunities in Canadian Transportation:
Conference Proceedings, 162 p.
Auto Sub-Conference Proceedings, 136 p.
Bus/Rail Sub-Conference Proceedings, 122 p.
Air Sub-Conference Proceedings, 131 p.
The Politics of an Industrial Strategy: Proceedings, 115 p.

1980

Food for the Poor: The Role of CIDA in Agricultural, Fisheries and Rural Development, par Suteera Thomson, 194 p.
L'Enseignement des sciences dans une perspective sociale, par Glen S. Aikenhead, 86 p.

Entropy and the Economic Process: Proceedings, 107 p.
Opportunities in Canadian Transportation Conference Proceedings, 5, 270 p.
Compte rendu du Séminaire sur la recherche universitaire en péril, 91 p.
Social Issues in Human Genetics—Genetic Screening and Counselling : Proceedings, 110 p.
The Impact of the Microelectronics Revolution on Work and Working: Proceedings, 73 p.

1981

L'enseignement des sciences vu par un ingénieur, par Donald A. George, 36 p.
The Limits of Consultation: A debate among Ottawa, the Provinces, and the Private Sector on an Industrial Strategy, par D. Brown, J. Eastman, avec I. Robinson, 195 p.

Biotechnology in Canada—Promises and Concerns: Proceedings, 62 p.
L'articulation du complexe de la recherche
Compte rendu, 116 p.
Communications, 324 p.

The Adoption of Foreign Technology by Canadian Industry: Proceedings, 152 p.
L'influence de la mutation microélectronique sur la branche canadienne de l'électronique, 105 p.
L'avenir de l'enseignement assisté par ordinateur, 51 p.

1982
Qu'est-ce que la pensée scientifique? par Hugh Munby, 42 p.
La Macroscole—ou l'enseignement systémique des sciences, par M. Risi, 65 p.

Les sciences au Québec : Quelle éducation?—Compte rendu, 134 p.
Qui fait tourner la roue?—Compte rendu, 149 p.

1983
Les parlementaires et la science, par Karen Fish, 50 p.
La culture scientifique—Vers l'équilibre dans le choix d'objectifs pour l'enseignement des sciences à l'école, par Douglas A. Roberts, 43 p.
Un regard neuf sur la société de conservation, par Ted Schrecker, 52 p.
La réglementation des recherches sur la recombinaison génétique—Le dossier de trois pays, par Howard Eddy, 101 p.

L'Atelier sur l'intelligence artificielle, par F. David Peat, 79 p.

1984
Un mariage d'intérêts—La mise en place de l'infrastructure de recherche industrielle en milieu universitaire, par James B. MacAulay, 177 p.
Épistémologie et didactique des sciences, par Robert Nadeau et Jacques Désautels, 69 p.
Énergie renouvelable—L'innovation à l'oeuvre, par Jeff Passmore et Ray Jackson, 39 p.
Le mauvais usage des données de la psychologie pour la définition des politiques—Le cas des États-Unis, par Jill G. Morawski, 81 p.
Formation continue pour les scientifiques—Suggestions pour intégrer l'apprentissage et la recherche, par Richard P. McBride, 36 p.

1985
La formation en génie au Canada : faits et chiffres, par Dominique Mascolo, Robert M. Wright et Gordon R. Slemon, 20 p.
Les matériaux industriels de pointe : Perspectives canadiennes, par Aant Elzinga et Sean McCutcheon, 29 p.
Des idées bien vivantes—La biologie théorique au Canada, par Paul J. Buckley, 33 p.

Atelier sur les technologies de l'information et la protection de la vie privée au Canada—Compte rendu, 69 p.